

بِسْمِ اللَّهِ
الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

رساله دکتری رشته شیلات (Ph.D)

عنوان:

بررسی تجمع زیستی جیوه در زنجیره غذایی اردک ماهیان تالاب انزلی - ایران

استاد راهنما:

دکتر عباس اسماعیلی ساری

استادان مشاور:

دکتر غلامحسین وثوقی

دکتر شعبانعلی نظامی بلوچی

نگارنده:

غلامرضا قاسم زاده

سال تحصیلی ۱۳۸۵-۱۳۸۴

سپاسگذاری

سپاس خدای را سزااست که در زمین و آسمان نشانه های قدرتتش نمایان است.

بدینوسیله از استاد فرزانه جناب آقای دکتر عباس اسماعیلی ساری که به عنوان استاد راهنما، ضمن راهنمایی عالمانه، با درایت زمینه های اجرای بخش آنالیز دستگاهی در دانشگاه تربیت مدرس نور را برایم مهیا نمودند، قدردانی و تشکر می نمایم.

از جناب آقای دکتر غلامحسین وثوقی استاد دانشکده دامپزشکی دانشگاه تهران که به عنوان استاد مشاور در مراحل این تحقیق از مشاوره تخصصی ایشان نهایت بهره مندی حاصل شد، همچنین از جناب آقای دکتر شعبانعلی نظامی بلوچی به عنوان استاد مشاوره دوم و جناب آقای دکتر محمد رضا احمدی استاد ناظر رساله و دکتر عیسی شریف پور استاد داور مدعو نهایت قدردانی را به جهت همکاری مراتب قدردانی خود را ابراز می نمایم.

همچنین از دوست و همکار ارزشمندم جناب آقای دکتر علینقی سرپناه که عالمانه و مجاهدانه (از خارج از کشور) همکاری ها و هماهنگی های مهم برای نمونه برداری و ماهی شناسی و حمایت های عملیاتی را صورت دادند، صمیمانه قدردانم.

بعلاوه از جناب آقای دکتر سید محمود قاسم پوری و آقای کیوان عباسی که همکاری های آزمایشگاهی ارزشمندی را با اینجانب داشته اند، تشکر می نمایم.

تقديم به:

روح مادر م...

و
خانواده ام

فهرست مطالب

۱	چکیده.....
	فصل اول:
۳	کلیات.....
	۱-۱
۴	مقدمه.....
۷	۲-۱ تالاب بین المللی انزلی.....
۸	۳-۱ جیوه.....
۹	۱-۳-۱ ترکیبات جیوه.....
۱۰	۲-۳-۱ ایزوتوپهای جیوه.....
۱۱	۳-۳-۱ کاربردهای جیوه.....
۱۲	۴-۳-۱ جیوه در پزشکی.....
۱۳	۵-۳-۱ معادن جیوه.....
۱۳	۶-۳-۱ منابع ورود جیوه به محیط زیست.....
۱۴	۷-۳-۱ اثرات جیوه بر روی سلامتی و محیط زیست.....
۱۷	۸-۳-۱ احتیاطها و قوانین.....
۱۷	۴-۱ تجمع، تغلیظ و بزرگنمایی زیستی.....
۲۱	۵-۱ زنجیره غذایی اردک ماهیان.....
۲۱	۱-۲-۵-۱ اردک ماهیان.....
۲۲	۲-۲-۵-۱ معرفی گونه های موجود در زنجیره غذایی اردک ماهیان.....
۲۲	۳-۲-۵-۱ ماهی کاراس.....
۲۳	۴-۲-۵-۱ ماهی سیم نما.....
۲۳	۵-۲-۵-۱ ماهی سرخ باله.....
۲۴	۶-۲-۵-۱ مروارید ماهی.....
۲۴	۷-۲-۵-۱ ماهی مخرج لوله ای.....
۲۵	۸-۲-۵-۱ تیزکولی.....
۲۵	۹-۲-۵-۱ گامبوزیا.....
۲۶	۱۰-۲-۵-۱ شاه کولی.....
۲۷	فصل دوم: سابقه و پیشینه تحقیق.....
۳۳	فصل سوم : مواد و روشها.....
۳۴	۱-۲ مواد.....
۳۴	۱-۱-۲ انتخاب محل.....
۳۵	۲-۱-۲ نمونه برداری.....
۳۵	۲-۲ روشها.....
۳۵	۱-۲-۲ آماده سازی نمونه ها.....
۳۵	۲-۲-۲ آنالیز دستگاهی.....
۳۶	۳-۲-۲ کنترل کیفی.....
۳۶	۴-۲-۲ محاسبه فاکتور بزرگنمایی زیستی جیوه.....
۳۶	۵-۲-۲ تعیین سطوح غذایی.....
۳۷	۶-۲-۲ روشهای آنالیز آماری داده ها.....
۳۸	فصل چهارم: تجزیه و تحلیل و بیان نتایج حاصل از تحقیق.....

۳۹	۱-۴ نتایج کنترل کیفی آنالیز دستگاہی.....
۴۰	۲-۴ نتایج بررسی زنجیره غذایی اردک ماهیان.....
۴۱	۳-۴ نتایج آنالیز مقادیر جیوه در اردک ماهیها.....
۴۵	۴-۴ نتایج تجزیه و تحلیل مقادیر طول و وزن اردک ماهیان.....
۴۸	۵-۴ نتایج بررسی رابطه آماری مقادیر جیوه در بافتها با طول و وزن بدن اردک ماهی.....
۵۱	۶-۴ نتایج بررسی جیوه در زنجیره غذایی اردک ماهی.....
۵۱	۱-۶-۴ نتایج حاصل از بررسی جیوه در عضله پشتی طعمه‌ها.....
۵۴	۲-۶-۴ نتایج حاصل از بررسی تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه.....
۶۰	۳-۶-۴ تعیین سطوح غذایی اردک ماهیان در تالاب انزلی.....
۶۱	فصل پنجم : بحث و تفسیر و نتیجه گیری و جمع بندی.....
۶۲	۱-۵ تجمع زیستی جیوه در اردک ماهیان.....
۶۳	۲-۵ تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه در زنجیره غذایی اردک ماهیان.....
۶۴	۳-۵ فاکتور بزرگنمایی زیستی در زنجیره غذایی اردک ماهیان.....
۶۵	۴-۵ سطوح غذایی اردک ماهیان تالاب انزلی.....
۶۵	۵-۵ نتیجه نهایی.....
۶۶	منابع و مأخذ.....
۷۳	چکیده انگلیسی.....

چکیده

مدهاست جیوه بعنوان آلاینده زیست محیطی شدیداً خطرناک برای سلامتی انسان شناخته شده است. متیل جیوه بسیار سمی و از قابلیت تجمع و بزرگنمایی زیستی در زنجیره غذایی اکوسیستم‌های آبی برخوردار است. در این تحقیق تجمع زیستی جیوه در زنجیره غذایی اردک‌ماهی در تالاب بین‌المللی انزلی از ایران مورد بررسی واقع شده است. نمونه‌برداری به مدت یکسال از تیرماه سال ۱۳۸۳ تا مرداد ۱۳۸۴ وسیله دام‌گوشگیر و دستگاه الکتروشوکر در چهار منطقه شرقی، مرکزی، جنوبی و غربی تالاب صورت گرفته است. پس از بیومتری و بررسی محتوای معده اردک ماهیان براساس منابع معتبر شناسایی و بیومتری شدند، سپس اندامهای طحال، کبد و بافت عضله پشته‌های گونه‌های مورد بررسی جداسازی و در ۲۰- درجه سانتیگراد نگهداری گردید.

بررسی محتوای معده ۳۱۸ قطعه اردک‌ماهی در گروه‌های سنی ۱-۵ سال و حداکثر طول ۵۵۰ میلی‌متر حاکی از وجود گونه‌های کاراس، تیزکولی، سیم‌نما، شاه‌کولی، مخرج لوله‌ای، گامبوزیا، مروارید‌ماهی و ماهی سرخ‌باله بعنوان طعمه به نسبت‌های مختلف در سنین متفاوت رشد اردک‌ماهی بوده است. در تمام مراحل رشد اردک‌ماهی، گونه‌های کاراس، تیزکولی و سیم‌نما در مجموع غذای غالب آنرا تشکیل می‌دهند. همجنس خواری پس از سال سوم زندگی در الگوی تغذیه‌ای آن دیده می‌شود. گونه کاراس بیشترین سهم را داشته و سهم آن در لیست غذایی اردک ماهیان مسن‌تر بیشتر می‌باشد. گونه‌های تیز کولی و سیم‌نما بطور نسبی سهم برابری در تغذیه اردک ماهیان طی سالهای دوم و سوم زندگی دارند، اما در سنین بالاتر، سهم تیزکولی افزایش و سهم سیم‌نما کاهش می‌یابد. گونه‌های شاه‌کولی، مخرج لوله‌ای و گامبوزیا همراه با کاراس، تیزکولی و سیم‌نما عمده غذای اردک‌ماهی در سالهای دوم و سوم زندگی می‌باشند.

آنالیز دستگاهی جیوه وسیله دستگاه Advanced Mercury Analyzer 254, LECO, Standard NO: ASTM, D-6722 انجام گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل آماری مقادیر جیوه موجود در بافتهای مختلف اردک ماهیان نشان می‌دهد که در سنین مختلف، تفاوت آماری معنی‌داری بین غلظت جیوه موجود در عضله، کبد و طحال اردک ماهیها وجود داشته است ($p < 0.01$). غلظت جیوه همواره از الگوی عضله < کبد < طحال پیروی می‌کند. غلظت جیوه عضله و کبد اردک ماهیان ارتباط مستقیم با سن، طول و وزن بدن آنها دارد ($p < 0.01$). همچنین مقایسه میانگین‌های غلظت جیوه در بافتهای عضله، کبد و طحال نشان داد که غلظت جیوه موجود در عضله اردک ماهیهای یکساله کمتر از سایر طبقات سنی بوده است اما با گذشت زمان غلظت جیوه در این بافت افزایش یافته و در ماهیان ۳ ساله و مسن‌تر به بالاترین میزان خود رسیده است. در کبد اردک ماهیان اگرچه مانند عضله کمترین مقدار جیوه مربوط به یکساله‌ها بوده است،

اما تا سال پنجم برغم وجود روندی صعودی، افزایش معنی‌داری در مقدار جیوه موجود در این بافت بوجود نیامده است. تغییرات جیوه در طحال اردک ماهیها کمی پیچیده‌تر از تغییرات آن در عضله و کبد آنها بوده است. بطوری که غلظت جیوه موجود در طحال ماهیان یکساله، چهار و پنج ساله بالاترین و در سه ساله‌ها پایین‌ترین مقدار را داشته است و ماهیان دو ساله از این نظر حالت حد واسطی را از خود نشان می‌دهند. بلوغ جنسی و جنسیت فقط بر متوسط غلظت جیوه در عضله و کبد آنها اثر داشته‌است ($p < 0.05$) بطوریکه همواره با احتمال ۹۵ درصد اطمینان داریم که غلظت جیوه در عضله و کبد اردک ماهیهای بالغ بیشتر از نابالغ و در عضله و کبد ماده‌ها بیشتر از نرها باشد، این در حالیست که مقدار جیوه در طحال اردک ماهیان بالغ و نابالغ و همچنین در جنسهای نر و ماده نسبت به هم با اعتماد ۹۵ درصد همواره تفاوت معنی‌داری نداشته است. نتایج تجزیه و تحلیل مقدار تجمع جیوه در زنجیره غذایی اردک‌ماهی نشان داده است که در سطح اعتماد ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری بین غلظت جیوه در عضله پشته‌های گونه‌های مورد تغذیه اردک‌ماهی وجود دارد، این در حالیست که میانگین جیوه بترتیب در شاه‌کولی ۲۵۳/۹۱، مخرج لوله‌ای ۲۵۶/۵۵، گامبوزیا ۲۸۵/۹۱، کاراس ۲۸۲/۲۸، سیم‌نما ۳۲۸/۳۴، تیز کولی ۲۶۱/۶۱، مروارید‌ماهی ۳۲۲/۲۷ و سرخ‌باله ۲۴۱/۱۸ قسمت در میلیارد (ppb) بوده است. آنالیز رگرسیون خطی ساده نشان می‌دهد که رابطه افزایشی قوی ($R^2 = 99/12\%$) بین سن و نسبت $uptake / intake$ وجود دارد. این رابطه حاکی از تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه در بافت عضله پشته‌های اردک‌ماهی با گذشت زمان می‌باشد.

بررسی تغییرات زمانی بزرگنمایی زیستی جیوه در بافت عضله پشته‌های اردک‌ماهی مورد مطالعه با توجه به نیمه عمر جیوه در بافت عضله پشته‌های ماهی نشان می‌دهد که در سالهای دوم، سوم، چهارم و پنجم هر سال با گذشت زمان مقدار تجمع جیوه افزایش می‌یابد و در هر سال با توجه به میزان جیوه تجمع یافته حاصل از سال قبل، عرض از مبدأ این مدلها بالا می‌رود و شیب معادلات با گذشت زمان افزایش می‌یابد. همواره عامل بزرگنمایی زیستی بیش از یک ($BAF > 1$) بوده و حاکی از بزرگنمایی زیستی جیوه در زنجیره غذایی اردک ماهیان می‌باشد. بررسی تغییرات زمانی بزرگنمایی زیستی جیوه در اردک ماهیان در طول زمان به وسیله آنالیز رگرسیون خطی ساده نشان دهنده برتری مدل توانی در توصیف تغییرات زمانی جیوه بوده است که می‌توان از آن برای پیش‌بینی تغییرات زمانی جیوه در اردک‌ماهی استفاده نمود. سطوح غذایی اردک ماهیان در تالاب انزلی ۳/۵ تا ۴ تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: اردک ماهیان، تالاب انزلی، تجمع زیستی، جیوه، زنجیره غذایی.

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

مدهاست جیوه بعنوان آلاینده زیست محیطی بسیار خطرناک برای سلامتی انسان شناخته شده است. بیماری میناماتا طی سال ۱۹۵۶ پرتیترترین گزارش منتشره از آلودگی جیوه در ژاپن می باشد که موجب مسمومیت ۲۲۰۰ نفر و مرگ بیش از ۷۵۰ نفر را بدنبال داشته است. این آلودگی ناشی از پسابهای صنعتی حاوی جیوه ی معدنی بود که پس از ورود به آبها و میکروارگانیسمها تبدیل به متیل جیوه و سپس وارد زنجیره ی غذایی آبها گردید. حادثه عراق نیز از دیگر موارد سمیت جیوه است که در اثر تهیه نان از دانه های گندم سم پاشی شده وسیله قارچ کش های حاوی متیل جیوه رخ داد و موجب مسمومیت بیش از ۶۰۰۰ نفر و مرگ بیش از ۵۰۰ نفر گردید (Trimbrell, 2000).

از آنجایی که میزان ورود جیوه به اتمسفر از منابع طبیعی به اندازه کافی قابل توجه و نزدیک به مقدار جیوه رها شده به اتمسفر در اثر فعالیت های انسانی می باشد، تقریباً در تمام صخره ها و خاک ها جیوه به غلظت های کم یافت می شود (Pacyna & Pacyna, 2001). جیوه از کاربردهای بسیار متنوع از قبیل صنعتی، پزشکی و همچنین تحقیقات علمی برخوردار است (Calvert, 2004). منبع عمده انتشار جیوه به اتمسفر، مصرف سوخت های فسیلی در نیروگاه های حرارتی می باشد. در اروپا کل جیوه رها شده به اتمسفر بالغ بر ۳۴۲ تن در سال و میزان ورود طبیعی آن به اتمسفر ۲۵۰-۳۰۰ تن در سال برآورد شده است (Pacyna et al., 2001) در حالیکه کل مقادیر جهانی آن به ترتیب ۱۰۰۰۰ و ۶۰۰۰-۲۷۰۰ تن در سال تخمین زده شده است (Al-Saleh & Al-Doush, 2001).

نیمه عمر جیوه در اتمسفر يك سال می باشد (Kraemer et al., 2004). ورود فلزات سنگین به اتمسفر بتدریج طی دو دهه گذشته در اروپا و امریکای شمالی کاهش یافته با این وجود در بسیاری از مناطق بکر و طبیعی هنوز جیوه یافت می شود. بیشترین میزان ورود جیوه در اثر فعالیت های انسانی به اتمسفر در آسیا روی می دهد و علیرغم محدودیت مصرف جیوه در بسیاری از کشورها میزان کل جیوه وارده به اتمسفر در اثر فعالیت های انسانی در حال افزایش است (US.EPA, 2006).

جیوه در طبیعت بصورت عنصری، معدنی یا فرم آلی دیده می شود. جیوه عنصری به راحتی تبخیر شده و در اتمسفر جا به جا می گردد، بعلاوه نسبتاً بی خطر است بجز مواردی که بطور مستمر و یا به مقدار زیاد در معرض واقع گردد. با این وجود اگر تبخیر و سپس استنشاق شود، اثرات سمی شدیدی بر روی سیستم تنفسی و سیستم اعصاب مرکزی بر جا می گذارد.

اشکال معدنی جیوه به راحتی تبخیر نمی شوند و بطور نسبی بی خطر می باشند بجز مواردیکه به مقدار زیاد مصرف شود که در این صورت موجب تخریب سیستم گوارشی می گردند، در حالیکه اشکال آلی جیوه بویژه متیل جیوه بسیار سمی می باشند. متیل جیوه به سه دلیل خطرناک ترین شکل جیوه محسوب می شود:

- ۱- تمایل شدیدی به تخریب سیستم عصبی و احتمالاً تخریب ژنها دارد. ۲- نسبت به سایر اشکال جیوه از پایداری بسیار بالایی برخوردار است، به راحتی جذب و به کندی دفع می گردد. ۳- احتمالاً متیل جیوه فراوان ترین فرم جیوه موجود در غذاهای مصرفی انسان می باشد. اگر جیوه ی معدنی از طریق غذا وارد معده شود ۹۸ درصد آن سریعاً از طریق ادرار و مدفوع دفع می گردد، متیل جیوه به میزان ۹۰-۹۵٪ توسط گندهای جنسی جذب می گردد (US.EPA, 2006) و بیش از ۸۰٪ متیل جیوه از طریق مصرف ماهیان آلوده وارد بدن می گردد (Schober, et al., 2003; Mahaffey et al., 2004). نیمه عمر جیوه تقریباً در بافت ماهی دو ماه و در بدن انسان ۷۰ روز می باشد (Kraemer et al., 2004). مصرف ماهیان آب شیرین و دریایی منبع اصلی ورود متیل جیوه به انسان می باشد (Porvari & 2003).

Verta, متیل جیوه قادر به عبور از مویرگ‌های خونی مغز بوده و می‌تواند به جفت نفوذ و در جنین تجمع یابد. مقدار آن در جنین ممکن است چند برابر مقدار آن در مادر باشد. در اکوسیستم‌های آبی همه اشکال جیوه توسط چندین مکانیسم حیاتی و غیر حیاتی قابل تبدیل به فرم بسیار سمی متیل جیوه می‌باشند.

بسیاری از گونه‌های باکتریایی و قارچ‌ها می‌توانند جیوه معدنی را متیله کنند. باکتری‌های احیاءکننده سولفات و باکتری‌های بی‌هوازی اجباری عوامل اولیه متیلاسیون جیوه در اکوسیستم‌های آبی می‌باشند (Gilmer et al., ۱۹۹۸; Gilmer & Henry, ۱۹۹۱). تبدلات غیر حیاتی جیوه ممکن است در رسوبات، خاکها و آبهای طبیعی رخ دهد که عبارتند از مکانیزم‌های فتوشیمیایی و اثر موادهومیکی و اسید فولویک. متیلاسیون القایی وسیله اسیدهای هومیک و فولویک اسید با افزایش دما افزایش و در شرایط اسیدی ($pH < 5$) تشدید می‌یابد (Porvari, ۲۰۰۳). متیلاسیون جیوه بخش بسیار مهم سیکل جیوه در محیط زیست می‌باشد (Nikunen et al., ۲۰۰۰). برای آنکه جیوه توسط باکتری‌ها متیله گردد و یا توسط باکتری‌ها و فیتو پلانکتون‌ها وارد زنجیره غذایی شود ابتدا باید از عرض غشای لیپیدی ارگانیزم‌های تک سلولی عبور نماید (جذب میکروبی) به این ترتیب جذب میکروبی پایه تجمع زیستی جیوه را شکل می‌دهد. متیل جیوه در زنجیره غذایی به حرکت در آمده و در حلقه‌های بالاتر سطوح تروفي در ماهیان از طریق ایجاد باندهای

سولفیدی به آمیتو اسیدها متصل و در بافت عضله در اتصال با پروتئینها تجمع و بزرگنمایی زیستی می‌یابد (Mahaffey et al., ۲۰۰۴). این ترکیب نسبت به سایر اشکال جیوه به مراتب بسیار بیشتر تجمع می‌یابد به علاوه در بین انواع متیل‌های جیوه نیز میزان تجمع متفاوت است، فقط منومتیل جیوه از قابلیت تجمع زیستی برخوردار است و تنها فرم فعال جیوه می‌باشد که در فیتو پلانکتون‌ها و باکتریو پلانکتون‌ها تجمع می‌یابد دیگر اشکال متیل جیوه به همان راحتی که وارد سلول می‌شوند از آن به بیرون انتشار می‌یابند (Morel et al., ۱۹۹۸).

کلرید جیوه نیز تجمع می‌یابد اما نه به مانند متیل جیوه، کلرید جیوه ابتدا به ذرات مواد سلولی یک ارگانیزم متصل می‌شود که به این ترتیب قادر به عبور از سطوح تروفي نمی‌باشد در حالیکه متیل جیوه به مواد محلول درون سلولی یک ارگانیزم متصل شده و بطور موثری توسط سطوح غذایی بعدی جذب می‌گردد (Morel et al., 1998).

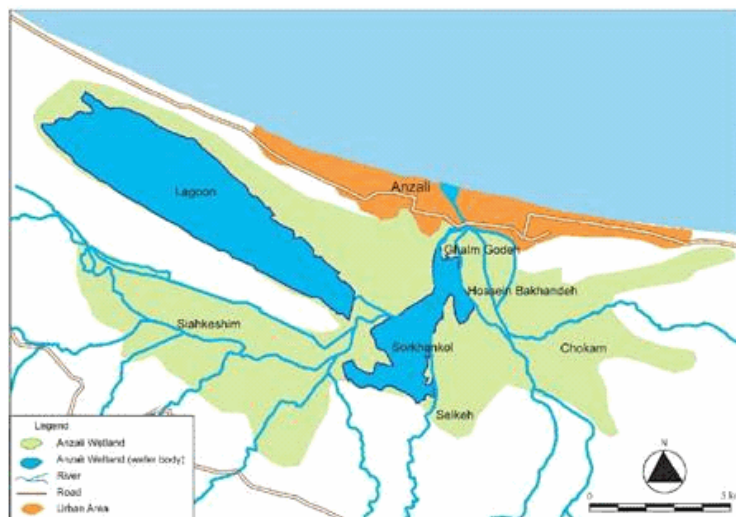
قدرت بالای انتقال متیل جیوه در سطوح بالاتر زنجیره‌های غذایی از قابلیت حلالیت آن در لیپید غشای پلاسمایی ناشی می‌شود. جیوه ممکن است بطور مستقیم به اکوسیستم‌های آبی منتقل شود اما بخش عمده آن وارد اتمسفر می‌شود، سپس طی مدت زمان طولانی از منبع اصلی انتشار به مسافت‌های بسیار دور جابجا و نهایتاً با ریزش‌های اتمسفری به اکوسیستم‌های آبی منتقل می‌گردد. مقدار جیوه ای که مستقیماً از اتمسفر وارد منابع آبی می‌گردد معمولاً از اهمیت کمتری برخوردار است. در حالیکه بخش عمده جیوه از طریق حوضه آبریز وارد تالاب‌ها و دریاچه‌ها می‌گردد و در بسیاری از تالاب‌ها میزان جیوه بطور خاصی با نسبت سطح اکوسیستم به سطح کل حوضه آبریز و خصوصیات آن ارتباط دارد (Porvari, ۲۰۰۳). حوضه‌های آبریز نه تنها جیوه ته نشین شده اتمسفری را در سطح وسیعی به دام می‌اندازند بلکه مقادیر زیادی جیوه در رسوبات خود جای داده اند که از طریق زهکش حوضه به اکوسیستم حمل و در آنجا تجمع می‌یابد. بسیاری از ترکیبات مضر نظیر بسیاری از آفت‌کش‌های آلی و فلزات سنگین نظیر جیوه به سمت بالای زنجیره غذایی تجمع می‌یابند در نتیجه گونه‌های شکارچی بالای زنجیره ی غذایی مثل اردک ماهیان (*Esox Lucius*) اغلب مقادیر زیادی از این آلاینده‌ها را در خود تجمع می‌دهند. در سیستم‌های آبی بسته و نیمه‌باز (همانند تالاب‌انزلی) روابط شکار

و شکارچی بسیار پیچیده است و شکارچیان اغلب از چند طعمه کوچکتر از خود تغذیه می نمایند (Gray, 2002; McKay & Fraser, 2000). ارزیابی میزان جیوه انتقال یافته از طریق زنجیره غذایی به ماهی واقع در بالای هرم غذایی تنها زمانی باید صورت گیرد که مقدار جیوه انتقال یافته در سطح

یا سطوح غذایی پایین تر تجزیه و سهم هریک از طعمه ها در تغذیه ماهی واقع در بالای زنجیره غذایی تعیین گردد (Gray, 2002; Xue et al., 2002). به علاوه نمونه برداری از بافت مشابه در سطوح مختلف غذایی در یک زنجیره غذایی جهت بررسی تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه از انحرافات موجود در اطلاعات حاصل از اندازه گیری جیوه تجمع یافته در بدن موجودات می کاهد (Gray, 2002). لذا برای اساس در این پژوهش تجمع زیستی جیوه در زنجیره غذایی اردک ماهیان تالاب انزلی با آنالیز آزمایشگاهی محتوای معده اردک ماهیان با تفکیک گونه ای و تعیین درصد سهم طعمه ها و تعیین غلظت جیوه در عضله پشتی این ماهیان مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۱ تالاب بین المللی انزلی

تالاب بین المللی انزلی در ایران و تحت پوشش کنوانسیون بین المللی رامسر قرار دارد. این تالاب با مساحتی کمتر از یکصد کیلومتر مربع در ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی در جنوب غربی دریای خزر در استان گیلان واقع شده که از جانب شمال به دریای خزر، از شرق به روستای پیرباز، از غرب به کپورچال و آبکنار، و از طرف جنوب به صومعه سرا و قسمتی از شهرستان رشت محدود می گردد (طرح جامع، ۱۳۶۷).



انزلی

تصویر ۱-۱: تالاب

حوزه آبریز تالاب انزلی در منطقه رشت در گیلان قرار دارد و دارای میانگین بارش ۸۰۰ میلی متر و دامنه نوسانات حرارتی نسبتاً ثابت می باشد، عمده رودخانه های ورودی به تالاب نیز از کوه های تالش یا طوالش سرچشمه می گیرند.

از نظر زمین شناسی تالاب انزلی در اواخر پلیوسین و احياناً هلیوسین تشکیل شده که حوزه آبریز آن مساحتی حد ۳۴۷ هزار هکتار دارد. چهار بخش مشخص در تالاب انزلی وجود دارد که عبارتند از : بخش شرقی، بخش جنوبی (سیاه کشیم)، بخش مرکزی و بخش غربی. در بخش شرقی به علت پراکندگی و گسترش صنایع و فعالیت های کشاورزی به نظر می رسد مواد مغذی وارد شده به تالاب

قابل توجه باشد زیرا از پوشش نسبتاً متراکم ماکروفتها برخوردار است. در بخش سیاه کشیم غالبیت با فعالیتهای کشاورزی است و تنها بخش حفاظتی تالاب است که پرندگان مهاجر جهت زمستان گذرانی به این منطقه پناه می‌آورند. بخش مرکزی متأثر از پسابهای کشاورزی و پسابهای پراکنده شهری و روستایی است و بخش غربی تالاب کمتر تحت تأثیر فعالیتهای کشاورزی و صنعتی قرار دارد.

عمده رودخانه‌های ورودی به تالاب عبارتند از: بخش شرقی که اکثر فعالیت‌های صنعتی در این بخش متمرکز می‌باشند و هشت رودخانه مهم به نامهای شیجان یا خمام رود، بیج رود، رمضان بکنده، پیر بازار، نوخاله یا پسیخان، الله کا و هند خاله به آن وارد می‌شوند. به بخش مرکزی تالاب سه رودخانه مهم وارد می‌شود که عبارتند از: سیاه درویشان، گاز رودبار و کانال مادر، به بخش حفاظت شده سیاه کشیم نیز هفت رودخانه مهم وارد می‌شود که عبارتند از نرگستان، کلسر، بهمبر، چمنقال، اسپند، خالکایی و مرغک، رودخانه چاف رود نیز وارد بخش غربی تالاب می‌گردد (طرح جامع، ۱۳۶۷).

۳-۱ جیوه :

جیوه عنصری شیمیاییست که در جدول تناوبی با نماد Hg که از واژه یونانی هیدرآرگاریوم (Hydrargarum) به معنای نقره آبدار یا نقره مایع اقتباس گردیده، نشان داده می‌شود و عدد اتمی آن ۸۰ می‌باشد. فلزیست نقره ای و سنگین که از حالتی به حالت دیگر تبدیل می‌گردد. جیوه یکی از تنها دو عنصری است که در دمای اطاق مایع است، عنصر دیگر یعنی برومین در ساخت دماسنج‌ها، فشارسنجها و دیگر لوازم آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جیوه بطور عمده از طریق احتیای سنگهای معدنی بدست می‌آید. جداول ۱-۱، ۲-۱، ۳-۱ و ۴-۱ بترتیب ویژگیهای اتمی، فیزیکی، ویژگیهای متفرقه و پایدارترین ایزوتوپهای جیوه را نشان می‌دهند.

جدول ۱-۱: ویژگیهای اتمی جیوه

وزن اتمی	200/59 u
شعاع اتمی	150(171)pm
شعاع کووالانت	149 pm
شعاع اربیتال اشتراکی	155 pm
شعاع واندروالس	Xe 4f1 d10 6s2
آرایش الکترونی	۲و۱۸و۳۲و۱۸و۸و۲
تعداد الکترونها در هر سطح انرژی	۲و۱
وضعیت اکسیداسیونی بطور ملایم	شش وجهی دارای وجوه متوازی الاضلاع
ساختار بلوری	

منبع: <http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Hg.html>

جدول ۲-۱: ویژگیهای فیزیکی جیوه

وضعیت ماده	مایع
------------	------

نقطه ذوب	۲۳۴/۳۲ k (-۳۷/۸۹ F)
نقطه جوش	۶۲۹/۸۸ K (۱۱۶۷۴ F)
حجم مولکولی	۱۴/۰۹ Cm ³ /mol
دمای تبخیر	۵۹/۲۲۹ Kg/mol
دمای ترکیب و امتزاج	۲/۲۹۵ Kg/mol
نقطه سه گانه (جامد، مایع، گاز)	۲۳۴/۳۲ k و ۰/۲ Mpa
سرعت صوت	۱۴۰۷ m/s در دمای ۲۰ c

منبع: <http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Hg.html>

۱-۳-۱ ترکیبات جیوه

مهمترین نمکهای جیوه عبارتند از:

- کلرید جیوه یک ظرفیتی به نام آکا کالوول (AKA – Calowel) که هنوز گاهی اوقات در پزشکی از آن استفاده می‌شود.
- کلرید جیوه دو ظرفیتی: که بسیار خورنده، متصاعد شونده، فرار و سمی می‌باشد.
- فولمینات جیوه که یک چاشنی انفجاری است که بطور گسترده در اکتشافات مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- سلنید جیوه دو ظرفیتی که یک نیمه فلز است.
- تلورید جیوه دو ظرفیتی که یک نیمه فلز است.
- تلورید کادمیوم جیوه که یک ماده ردیاب مادون قرمز می‌باشد.
- ترکیبات آلی جیوه مثل متیل جیوه که یکی از ترکیبات آلی جیوه و آلاینده بسیار خطرناک است و بطور وسیعی در پیکره‌های آبی و رودخانه‌ها یافت می‌شود.

جدول ۱-۳: ویژگیهای متفرقه جیوه

الکترونگاتیویته	2 pauling
ظرفیت ویژه گرمایی	140 j/ (kg.k)
هدایت الکتریکی	1/04 ms/m
هدایت گرمایی	8 /34 w/(m.k)
اولین پتانسیل یونیزاسیون	1007/1 kj/mol
دومین پتانسیل یونیزاسیون	1810 kj/mol
سومین پتانسیل یونیزاسیون	33kj/mol

منبع: <http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Hg.html>

۱-۳-۲ ایزوتوپهای جیوه

هفت نوع ایزوتوپ پایدار جیوه وجود دارد که Hg-202 فراوانترین آنهاست. پایدارترین رادیوایزوتوپ‌های آن Hg-194 با نیمه عمر ۴۴۴ سال و Hg-203 با نیمه عمر ۴۶/۶۱۲ روز می‌باشد، اغلب رادیو ایزوتوپهای دیگر آن نیمه عمری کمتر از یک روز دارند.

جدول ۱-۴: پایدارترین ایزوتوپهای جیوه

ایزوتوپ	فراوانی طبیعی	در	نیمه عمر	مد زوال	انرژی زوال به مگا الکترون ولت	زوال محصول
Hg ۱۹۴		۴۴۴ سال				
Hg ۱۹۵		۹/۹ سال				
Hg ۱۹۶	۰/۱۵ %		Hg با ۱۱۶ نوترون پایدار است			
Hg ۱۹۷		۶۴/۱۴ ساعت		۴	۰/۶۰۰	Au ۱۹۷
Hg ۱۹۸	۹/۹۷ %		Hg با ۱۱۸ نوترون پایدار است			
Hg ۱۹۹	۱۶/۸۷ %		Hg با ۱۱۹ نوترون پایدار است			
Hg ۲۰۰	۲۳/۱ %		Hg با ۱۲۰ نوترون پایدار است			
Hg ۲۰۱	۱۳/۱۸ %		Hg با ۱۲۱ نوترون پایدار است			
Hg ۲۰۲	۲۹/۸۶ %		Hg با ۱۲۲ نوترون پایدار است			
Hg ۲۰۳		۴۶/۶۱۲ روز		B	۰/۴۹۲	Tl ۲۰۳
Hg ۲۰۴	۶/۸۷ %		Hg با ۱۲۴ نوترون پایدار است			

منبع: <http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Hg.html>

جیوه از هدایت گرمایی نسبتاً ضعیفی برخوردار است در حالیکه رسانایی خوبی برای جریان الکتریسیته بشمار می‌رود و تقریباً به راحتی با تمام فلزات متداول بجز آهن نظیر طلا، آلومینیوم و نقره تشکیل آلیاژ می‌دهد. تلوریوم نیز با جیوه تشکیل آلیاژ می‌دهد اما واکنش آن برای تشکیل آلیاژ تلورید جیوه به کندی صورت می‌گیرد. آلیاژهای جیوه را آمالگام می‌نامند. این فلز بعلاوه دارای انبساط حجمی یکنواختی در دماهای مختلف می‌باشد. نسبت به روی و کادمیوم واکنش کمتری دارد و نمی‌تواند نیدروژنهای یک ترکیب اسیدی را از آن جدا نماید. اکسیداسیون جیوه معمولاً یک و دو ظرفیتی می‌باشد و ترکیبات سه ظرفیتی پایدار آن کمیابند. واحد تجاری حمل و نقل جیوه فلاسک (Flask) نامیده می‌شود که معادل ۷۶ پوند یا ۴۳/۵ کیلوگرم می‌باشد.

۳-۳-۱ کاربردهای جیوه

جیوه بطور معمول در صنایع شیمیایی یا الکتریکی و الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، این عنصر در بعضی از دماسنجها بکار می‌رود. فروش ترمومترها و نبض سنجهای غیر مجاز حاوی مقادیر زیاد جیوه در برخی از ایالات امریکا ممنوع شده است. جیوه در فشار سنجهای جیوه‌ای، پمپ افشان و بسیاری از دیگر لوازم آزمایشگاهی استفاده می‌شود. نقطه سه گانه جیوه ۳۸/۸۳۴۴- درجه سانتیگراد، نقطه ای ثابت است که بعنوان دمای استاندارد در مقیاس دمای بین المللی بکار می‌رود. در بعضی از لوله‌های الکترون گازی، جیوه بعنوان تعدیل کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد. حالت گازی جیوه در لامپهای بخار جیوه و بعضی از انواع تابلوهای نئون و لامپهای فلوئورسنت بکار می‌رود (Calvert, 2004) همچنین جیوه در سونوچ‌های جیوه، الکترودها، انواع الکترولیزها، باتری ها، سلولهای جیوه و کاتالیتها، علف کشها، حشره کشها، تهیه آلیاژ دندان و همچنین در آینه تلسکوپها بکار می‌رود. ترکیبات جیوه در ضد عفونی کننده ها، ضد یبوست، ضد افسردگی و ضد سفلیس نیز کاربرد داشته است.

در جوامع باستانی، جیوه به خوبی شناخته شده و در آرامگاههای مصر باستان با تاریخ ۱۵۰۰ سال قبل از میلاد یافت شده است. در هند، تب و چنین تصور می‌شد که جیوه موجب افزایش طول عمر، درمان کننده شکستگی‌ها و بطور کلی موجب حفظ سلامتی می‌شود. در یونان باستان نیز از جیوه برای ساخت آلیاژ با دیگر فلزات استفاده می‌شد. Hg سمبل و علامت شیمیایی مدرن جیوه می‌باشد که از واژه هیدرآرگیروم گرفته شده است، واژه ای لاتینی از واژه یونانی هیدرآرگیروس (Hydrargyros) که

واژه ای ترکیبی به معنای آب و نقره می باشد. با این وجود در دمای اتاق مایعی شبیه به آب با درخشش نقره ای می باشد. بعدها این عنصر به خاطر سرعت و سیالیت، خدای جیوه رومی نام گرفت. سمبل نجومی سیاره هم یکی از سمبل های کیمیاگری برای فلزات می باشد. جیوه تنها فلزی است که نام نجومی آن در علم کیمیاگری متداول شده است.

۱-۳-۴ جیوه در پزشکی:

قرنها کلرید جیوه ترکیبی متداول در درمان بیماریها بوده است. جیوه در اوایل قرن شانزدهم قبل از کشف آنتی بیوتیکها در درمان سفلیس بکار رفته است. در طول قرن نوزدهم دانه کوچک و آبی رنگی که جیوه جز اصلی آنرا تشکیل می داد در یبوست، افسردگی، وضع حمل نوزاد و درد دندان تجویز می شد (<http://www.fda.gov/cber/vaccine/thimerosal.ht>). از ابتدای دهه ۱۹۳۰، سازمان غذا و داروی آمریکا گزارش داد که پودر دندان آور مخصوص نوزادان و بعضی از واکسنها حاوی ماده نگهدارنده ای بنام تیموراسل با ترکیب اصلی اتیل جیوه بوده است. عنصر جیوه جز اصلی ترین آلیاژهای دندان است. در سال ۱۸۴۳ جامعه دندانپزشکان جراح آمریکا در خصوص سمیت جیوه اظهار نگرانی نموده و اعضا خود را به امضای تعهدنامه عدم استفاده از آمالگام ملزم نمودند. در سال ۱۸۵۹ جامعه دندانپزشکان آمریکا توسط دندانپزشکانی که بی خطر بودن و موثر بودن آمالگام را باور داشتند تشکیل گردید این جامعه بصورت مکتوب در اظهار نامه خود راجع به آمالگام مخصوص

دندان بر این باور تاکید کرد که آمالگام، انتخابی ارزشمند، بادوام و بی خطر برای بیماران دندان پزشکی می باشد (A.D.A, 2004). در سال ۱۹۹۳ سرویس بهداشت عمومی آمریکا گزارش نمود که آمالگام مقادیر کمی از بخار جیوه را رها می سازد، اما در این مقدار کم هم تاکنون هیچگونه اثرات منفی بر روی سلامت از خود نشان نداده است. در سال ۲۰۰۲ میلادی کالیفرنیا اولین ایالتی بود که استفاده از آمالگام را ممنوع اعلام کرد (A.D.A, 2004).

شیوه های استعمال داروهای حاوی جیوه ذاتا خطرناک می باشد. هیچگاه نباید استفاده از آنها به مانند گذشته توسعه یابد. ترمومترهایی که در قرن ۱۸ اختراع شدند دارای جیوه می باشند. از ابتدای قرن بیست و یکم استفاده از آنها در حال کاهش است و در بعضی از کشورها ممنوع شده است (Brown, 2003). سال ۲۰۰۲ در مجلس سنای آمریکا قانونی برای توقف تدریجی فروش ترمومترهای غیر مجاز جیوه ای تصویب شد. سال ۲۰۰۳ نیز واشنگتن و ماین اولین ایالاتی بودند که استفاده از فشارسنجهای جیوه ای خون را ممنوع کردند. سال ۲۰۰۵ ترکیبات جیوه در بعضی از داروها شامل ضد عفونی کننده ها، ضد یبوست، پمادهای ضد جوش و تحریکات جلدی، قطره های چشمی و اسپری های بینی ملزم به حذف گردیدند (U.S.FDA, 2004).

۱-۳-۵ معادن جیوه

جیوه عنصری کمیاب در قشر زمین می باشد که بصورت فلز خالص، کمیاب است، سنگ معدن و دیگر مواد معدنی همراه با سنگ معدنی سولفید جیوه بیشترین منابع جیوه بشمار می روند. تقریباً ۵۰ درصد تولید جهانی جیوه توسط کشورهای اسپانیا و ایتالیا و بخش اعظم ۵۰ درصد باقیمانده توسط کشورهای اسلونی، روسیه و آمریکای شمالی تولید می گردد. فلز با حرارت دادن سنگ معدن در معرض جریان هوا و میعان بخار حاصله استخراج می گردد.

¹. Food and Drug Administration (FDA)

۱-۳-۶ منابع ورود جیوه به محیط زیست

جیوه در محیط زیست در اشکال مختلف آلی یافت می‌شود. بخش زیادی از جیوه موجود در اتمسفر بصورت بخار است، در حالی که میزان زیادی از جیوه موجود در آب، خاک، گیاهان و جانوران به شکل جیوه غیرآلی و آلی عمدتاً به صورت متیل است. بیش از ۷۵ درصد جیوه تجمع یافته در بافت عضله ماهیان آبهای شیرین بطور معمول بشکل ترکیبات متیل جیوه می‌باشد،

جیوه آلی در مقایسه با جیوه غیرآلی بطور موثرتری از طریق جذب مستقیم از آب (تغلیظ زیستی)^۲ و در طول زنجیره غذایی (بزرگنمایی زیستی)^۳ به اندامها و بافتهای مختلف ماهی انتقال می‌یابد (Weiner & Spry, 1996). منابع طبیعی ورود جیوه به محیط زیست شامل آتشفشانها، معادن و تبخیر از اقیانوس و منابع انسانی شامل احتراق زغال سنگ، صنایع، سوزاندن زایدات و فرآیندهای فلزی می‌باشد.

سوخت‌های فسیلی نیز از دیگر منابع جیوه بشار می‌روند. صنایع کلرقلیایی، لوازم الکتریکی، خمیرچوب و رنگ، بزرگترین مصرف کنندگان جیوه هستند که ۵۵ درصد از کل مصرف جیوه را به خود اختصاص داده‌اند. برخی ترکیبات جیوه در کشاورزی بویژه قارچ کشها استفاده می‌شود. جیوه تنوع کاربریهایی گسترده نظامی، صنایع الکتریکی، دارویی و دندانپزشکی دارد. همچنین ورود جیوه به محیط زیست از معادن جیوه، کارخانه‌های تولید دماسنج، پالایشگاهها و نیز در استخراج و عمل آوری طلا گزارش شده است. همچنین استفاده شخصی از صابونها و کرمهای روشن کننده پوست، استفاده از جیوه برای اهداف مذهبی و فرهنگی و همچنین استفاده از جیوه در برخی از داروهای سنتی نظیر درمانهای سنتی خاص آسیایی موجب می‌شود انسان بیشتر در معرض جیوه قرار گیرد (<http://toxics.usgs.gov/publish/fs-05-02>). از دیگر منابع ورود جیوه به محیط زیست عبارتند از: نیروگاههایی که با سوخت زغال سنگ کار می‌کنند، تولید کلین، استیل، فسفات و طلا، ذوب فلزات، تولید و تعمیر لوازم الکترونیکی و هواشناسی، سوزاندن ضایعات شهری، کاربردهای پزشکی شامل واکسیناسیون، دندانپزشکی، صنایع آرایشی و کارهای آزمایشگاهی درگیر با جیوه (<http://www.epa.gov/mercury.htm>). بدلیل نگرانیهای موجود در خصوص سلامتی، تلاشها در جهت کاهش استفاده از ترکیبات سمی در صدد توقف یا کاهش استفاده از جیوه در چنین محصولات می‌باشد بعنوان مثال، اکنون در اغلب ترمومترهای مورد استفاده، از الکلهای رنگی به جای جیوه استفاده می‌شود. ترمومترهای جیوه ای هنوز گهگاهی در عرصه پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا دقیق تر از ترمومترهای الکلی می‌باشند، اگر چه هر دوی آنها امروزه با ترمومترهای الکترونیکی جایگزین شده‌اند. ترمومترهای جیوه ای بدلیل دقت بالا و محدوده عمل هنوز استفاده گسترده ای در بعضی از کارهای علمی دارند.

۱-۳-۷ اثرات جیوه بر روی سلامتی و محیط زیست

عنصر جیوه بصورت مایع کمی سمی و در حالت بخار بشدت سمی می‌باشد، مدارک حاکی از آن است که استنشاق یا تماس با آنها منجر به تخریب مغز و کبد می‌شود. جیوه تمایل به اکسید شدن و تشکیل

اکسید جیوه دارد و اگر چنانچه چکانده شود یا به هم زده شود بصورت قطرات میکروسکوپی در خواهد آمد که به این ترتیب مساحت سطح تماس آن بطرز مهیجی افزایش خواهد یافت. جیوه سمی است که از قابلیت تجمع زیستی برخوردار بوده و به راحتی از طریق بافتهای پوستی تنفسی و گوارشی جذب می‌گردد. جیوه معدنی نسبت به جیوه آلی از سمیت کمتری برخوردار است، حتی با وجود اینکه جیوه

² . Bioconcentration

³ . Biomagnification

عنصري، سمیت خیلی کمتری نسبت به ترکیبات آلی آن دارد، هنوز جیوه عنصری آلودگیهای زیست محیطی و مسائل دارویی قابل توجهی را بر جای می‌گذارد که این موضوع ناشی از این واقعیت است که جیوه در مجاورت ارگانیزمهای زنده تبدیل به ترکیبات آلی جیوه می‌شود.

دی متیل جیوه یکی از خطرناکترین ترکیبات جیوه به شمار می‌رود و بقدری سمی است که حتی اگر چند میکرولیتر آن روی پوست ریخته شود موجب مرگ می‌شود. یکی از اهداف مهم این سم، آنزیم پیرووات دهیدروژناز می‌باشد. این آنزیم بطور غیر قابل برگشتی توسط ترکیبات مختلف جیوه از کار می‌افتد، ترکیب اسید لیپوئیک موجود در کمپلکس چند آنزیمی بطور محکم به ترکیبات جیوه متصل می‌شود و آنزیم پیرووات دهیدروژناز را از عمل باز می‌دارد. جیوه به سیستم اعصاب مرکزی و سیستم غدد درون ریز حمله ور شده و بطور زیانباری دهان، لثه و دندانها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

واقع شدن طولانی مدت در معرض جیوه منجر به تخریب مغز و نهایتاً مرگ خواهد شد. جیوه می‌تواند اثرات غیر غابل جبرانی بر روی جنین بر جا گذارد. هوای اشباع از بخار جیوه در دمایی اتاق علیرغم نقطه جوش بالایی آن دارای غلظتی معادل چندین برابر میزان غلظت سمی آن می‌باشد که خطر آن در دماهای بالاتر بمراتب بیشتر خواهد شد.

طی فرایند تجمع زیستی، متیل جیوه در اکوسیستم های آبی به سمت بالایی زنجیره غذایی حرکت و تجمع می‌یابد و در میان بعضی از گونه‌ها مثل تن ماهیان به بالاترین غلظتهای خود می‌رسد. مصرف مداوم فراورده‌های غذایی آلوده موجب سمیت جیوه در انسانها خواهد شد. از آنجائیکه جیوه به سمت بالایی زنجیره غذایی تجمع می‌یابد گونه های بزرگتر ماهیان مثل تن ماهیان و اردک ماهیان معمولاً نسبت به انواع کوچکتر خود نگران کننده تر می‌باشند. حوضه آبریز تمایل به تغلیظ جیوه از طریق فرسایش ته نشستهای معدنی و اتمسفری دارد. گیاهان جیوه را وقتی که هوا مرطوب است جذب می‌نمایند، در حالیکه ممکن است در شرایط هوای خشک آنها را از خود دفع نمایند (<http://www.ornl.gov/info/ornlreview/rev29-12/text/environ.htm//trees>). مطالعات نشان داده‌اند که برخی از باکتریها، جیوه معدنی را جذب نموده و از طریق فرایندهای متابولیک به متیل جیوه تبدیل می‌کنند.

متیل جیوه از طریق گیاهان آبی، جلبک‌ها، ماهیان و اشکال پست جانوری جذب و وارد زنجیره غذایی می‌شود، جایگاه تغذیه ای در شبکه غذایی عامل تعیین کننده شدت تجمع زیستی جیوه در گونه‌های ماهی می‌باشد (Sweet & Zelikoff, 2002). وقتی جیوه در شبکه غذایی آنها بزرگنمایی زیستی می‌یابد، ماهیان بالاتر در زنجیره غذایی (یا ماهیانی از سطح غذایی بالاتر) تمایل به تجمع مقادیر بیشتری جیوه در خود دارند، از این رو ماهیان شکارگر بزرگ، که در رأس هرم غذایی قرار دارند نظیر اردک ماهی، کوسه، شمشیرماهی همچنین فوک و والهای دنداندار، بالاترین غلظت را دارند که تقریباً ۱ تا ۱۰ میلیون برابر بیشتر از غلظت متیل جیوه محلول در آب بوده که می‌تواند بطور کامل به وسیله حیوانات مصرف کننده یا انسان جذب شود. ماهیان تجمع دهنده‌های مهمی بوده و بعنوان شاخص آلودگی جیوه در محیطهای دریایی و محیطهای آب شیرین بکار می‌روند (Clarkson, 2003).

متیل جیوه بیش از همه در عضلات ماهی در اتصال با پروتئین یافت می‌شود. نه تنها پوست کندن و تمیز کردن (قطع زائده ها) ماهی بطور معنی داری از غلظت جیوه نمی‌کاهد، بلکه بوسیله فرایند پختن هم از بین نمی‌رود (<http://www.chem.unepch/mercury/Report/Chapter4.htm>). چون در طول پختن، رطوبت از دست می‌رود، غلظت جیوه بعد از پختن واقعاً بیشتر از غلظت آن در ماهیان نپخته تازه است (U.S. EPA, 2001). انسان عموماً جیوه را به شکل متیل جیوه از راه مصرف ماهی و از طریق روده جذب می‌کند.

عمده ترین عوارض ناشی از مسمویت با جیوه بروز اختلالات عصبی و کلیوی می‌باشد که در

اثر ترکیبات آلی و معدنی جیوه ظاهر می‌شود. بعلاوه جیوه سبب سمی شدن گنادها، جهش زایی و اختلالات متابولیسمی کلسترول می‌گردد.

تاکنون سه حالت مسمومیت با متیل جیوه از طریق مصرف غذای آلوده شناسایی شده است، تاثیر بر سیستم مرکزی اعصاب از جمله آسیب اعصاب بینایی و علائم مغزی، کاهش حواس و در غلظت‌های بالا حمله عصبی و مرگ از آنجمله بشمار می‌روند. تاثیرات جیوه می‌تواند بسیار محسوس باشد، بزرگسالان که در معرض مقادیر زیادی متیل جیوه قرار گرفته‌اند ممکن است لرزش و بی‌حسی، خارش و سوزش در لب‌ها، زبان و انگشتان دست و پا را تجربه کنند. FDA حد مجاز جیوه در ماهیان، صدف‌ها و سایر جانوران آبی را یک میلی گرم در کیلو گرم اعلام نموده است. سازمانهای جهانی بهداشت و خواروبارو کشاورزی نیز حد مجاز و توصیه شده جیوه را در ماهیان شکارگر نظیر کوسه ماهی، شمشیر ماهی، تن ماهیان و اردک ماهیان، یک میلی گرم در کیلو گرم اعلام نموده اند. ممکن است که شمشیر ماهی و کوسه ماهی و دیگر ماهیان شکارچی بزرگ، مقادیر متیل جیوه بیش از حد یک میلی گرم در کیلو گرم داشته باشند.

هرچند مقادیر متیل جیوه برای اغلب ماهیان در دامنه کمتر از یک‌صدم تا نیم میلی گرم در کیلو گرم می‌باشد (<http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Chapter4.html>).

گونه‌های معینی از تن‌ماهیان بزرگ می‌توانند مقادیر بیش از یک میلی گرم در کیلو گرم جیوه داشته باشند. تن کنسرو شده متشکل از گونه‌های کوچکتر تن ماهی، مقادیر پایین تری حدود ۰/۱۷ میلی گرم در کیلو گرم متیل جیوه دارند. برای گونه‌های مهم تجاری میانگین متیل جیوه کمتر از ۰/۳ میلی گرم در کیلو گرم است. گونه‌های شکارچی آبهای شیرین که بصورت نقطه ای صید شده‌اند نظیر اردک ماهی بعضی اوقات درحد یک میلی گرم در کیلو گرم متیل جیوه دارند (<http://vm.cfsan.fda.gov/~dms/mercuvy.html>).

غلظت جیوه در ماهی به نحوه تغذیه، سن، اندازه و همچنین به اسیدیته آب و ویژگیهای جیوه بستگی دارد (Dorea et al., 2003). در برخی گونه‌ها دیده شده که نرها مقادیر جیوه بیشتری از ماده‌های با سن مشابه دارند. دیواره روده ماهی در مقابل متیل جیوه نفوذ پذیر است و ۵۰ درصد از کل جیوه وردی در بافت عضله تجمع می‌یابد. کبد مهمترین اندام انتقال زیستی متیل جیوه در جانوران است و ترکیبات خطرناک مستقیماً به صفرا برای سم زدایی دفع می‌شوند. تجمع جیوه در مغز ماهیان در مقایسه با خون و عضله بسیار کمتر است.

۸-۳-۱ احتیاط‌ها و قوانین

جیوه باید با دقت بسیار حمل و نقل شود. ظروف حمل و نقل جیوه نیازمند پوششی امن برای جلوگیری از نشست و تبخیر آن می‌باشد. حرارت دهی جیوه یا ترکیبات جیوه همواره باید زیر یک هود فیلتر دار و تهویه خوب صورت گیرد، بعلاوه بعضی از اکسیدها می‌توانند به جیوه عنصری تجزیه شوند که بلافاصله تبخیر شده و ممکنست ناپدید شوند. بدلیل مخاطرات ناشی از جیوه، استفاده‌های تجاری و صنعتی آن درکشورهای غربی بطور وسیعی قانونمند شده است.

۴-۱-۴ تجمع، تغلیظ و بزرگنمایی زیستی

چگونه آلاینده‌ها از میان سطوح غذایی در یک اکوسیستم آبی عبور و به سطوح بالاتر راه می‌یابند؟ برای پی بردن به این موضوع باید از سطوح غذایی، زنجیره غذایی، شبکه غذایی و هرم توده‌های زیستی اکوسیستم اطلاع کافی حاصل گردد. سطح غذایی عبارت از موقعیت یک موجود در زنجیره غذایی می‌باشد. سطوح غذایی بر اساس اینکه یک ارگانیسم خاص در زنجیره غذایی چقدر از

تولید کنندگان اولیه دور شده باشد به چند طبقه تقسیم بندی می‌شوند. گیاهان در سطح نخست غذایی، گیاهخواران در سطح دوم، شکارچیان در سطح سوم، گوشتخواران و یا گوشتخواران سطوح بالاتر بترتیب در سطوح چهارم و پنجم

جای می‌گیرند. در حالیکه زنجیره غذایی عبارت از ارتباط سطوح غذایی با یکدیگر بصورت یک زنجیره می‌باشد و روابط داخلی زنجیره‌های غذایی با یکدیگر شبکه غذایی را تشکیل می‌دهد. بعلاوه توده زنده موجود در هر سطح غذایی از پائین به بالای زنجیره غذایی را هرم توده‌های زیستی می‌نامند (<http://sis.nlm.nih.gov/enviro/glossary.html>). در مکانیزم ورود و عبور آلاینده‌ها از سطوح غذایی به بالای هرم توده‌های زیستی در زنجیره غذایی، پدیده‌های تغلیظ و بزرگنمایی زیستی نقش اساسی را ایفا می‌نمایند. تغلیظ زیستی به معنای ورود آلاینده‌ها به یک ارگانیسم صرفاً از محیط زیست (Intake) می‌باشد و تجمع زیستی عبارت از جذب آلاینده (uptake) در موجود زنده می‌باشد. در تجمع زیستی آلاینده از طریق تنفس، تغذیه، پوست (تماس اپیدرم با آلاینده) و دیگر روشها به موجود راه می‌یابد. سطح تجمع زیستی یک آلاینده به نرخ جذب آلاینده از طریق آبشش ماهی، هضم و جذب غذا، تماس با اپیدرم پوست، سرعت کاهش مقدار آلاینده از بدن موجود زنده (نیمه عمر بیولوژیک آلاینده)، مقدار چربی بافت موجود زنده، درجه ابگریزی آلاینده، فاکتورهای زیست محیطی و دیگر عوامل فیزیکی و بیولوژیکی بستگی دارد هر چه آلاینده آبگریزتر باشد بیشتر تجمع می‌یابد بعبارت دیگر هر چه آلاینده بیشتر چربی دوست باشد بیشتر تمایل به تجمع دارد. ضریب نسبت غلظت یک آلاینده در اکتانل به غلظت ماکزیم آن در آب در دما و فشار ثابت را ضریب جزئی اکتانل به آب گویند که نشان دهنده درجه آبگریزی آلاینده می‌باشد. هر چه این ضریب بیشتر باشد تجمع زیستی متیل جیوه بیشتر می‌شود (Chen et al, 2005). فاکتورهای تغلیظ زیستی و تجمع زیستی بیان کننده خطر یک آلاینده می‌باشند. تغلیظ زیستی عبارت از نسبت مقدار آلاینده ردیابی شده در یک بافت به مقدار آن آلاینده در محیط می‌باشد. تغلیظ زیستی فقط با جذب آلاینده‌ها از طریق آبششها یا دیگر سطوح خارجی بدن رخ می‌دهد.

فاکتور تجمع زیستی نیز عبارت از نسبت غلظت یک آلاینده ردیابی شده در یک بافت به مجموع مقدار جذب آن آلاینده از طریق آب و غذا و سایر راهها می‌باشد. فلزات سنگین پتانسیل تجمع زیستی بالایی در زنجیره غذایی آنها دارند. تجمع زیستی تنها زمانی خطرناک است که آلاینده به حد آستانه خود رسیده باشد. در سیستمهای غیر آلوده فاکتور تغلیظ زیستی برای فلزات سنگین در ماهی کمتر از ۱۰۰ می‌باشد، با این وجود خطر پایین است. فاکتور تغلیظ زیستی در صدف اویستر برای روی و مس بترتیب ۱۰۰ و ۱۰۰۰ برابر بیشتر از فاکتور تغلیظ زیستی آنها برای ماهیان موجود در همان اکوسیستم می‌باشد (Chen et al., 2005). تجمع زیستی عبارت از مقداری از آلاینده می‌باشد که در یک ارگانیسم از یک سطح غذایی در زنجیره از طرق مختلف تجمع می‌یابد. در حالیکه بزرگنمایی زیستی فرایندیست که طی آن غلظت یک آلاینده تجمع یافته باحرکت بسمت حلقه‌های بالاتر زنجیره غذایی افزایش می‌یابد. بعبارت ساده تر

افزایش غلظت یک آلاینده از یک حلقه به حلقه دیگر زنجیره غذایی را بزرگنمایی زیستی گویند. وقوع این پدیده با هم به معنای آنست که حتی غلظت های کم یک آلاینده شیمیایی در محیط زیست می‌تواند راه خود را به درون یک ارگانیسم یافته و به مقدار زیاد در آن تجمع یابد بنحویکه موجب مشکل شود. برای آنکه بزرگنمایی زیستی رخ دهد یک آلاینده باید ویژگیهای زیر را داشته باشد (Chen et al, 2005) : ۱ - طول عمر بالا داشته باشد ۲- قابل حل شدن در چربی‌ها باشد ۳- متحرک باشد و ۴- به لحاظ بیولوژیکی فعال باشد.

اگر یک آلاینده طول عمر کوتاه داشته باشد قبل از آنکه خطرناک شود تجزیه خواهد شد اگر

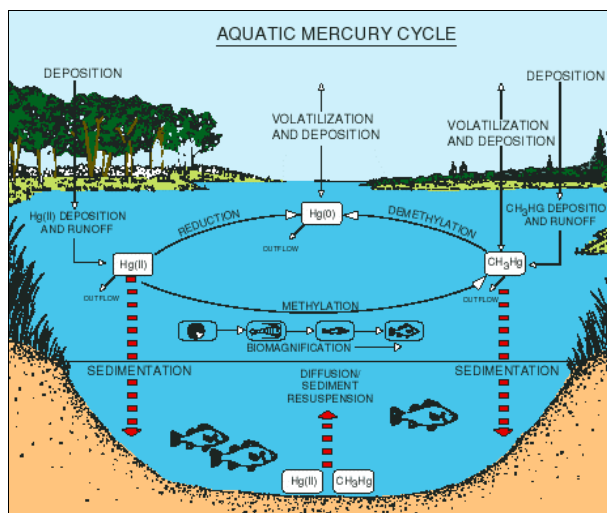
متحرك نباشد در يك مكان ثابت خواهد ماند و احتمالا جذب ارگانيزمها نخواهد شد. آلاينده هائيكه در چربيها محلولند ممكنست مدتهاي طولاني در آن باقي بمانند از اينرو معمولا براي اندازه گيري مقدار آلايندهها، بافت چرب موجودات مثل ماهي را مورد آزمون قرار مي دهند. در پستانداران اغلب شير ماده ها را تست مي كنيم زيرا شير، چربي زيادي دارد و بعلاوه مشكوك به آلودگي مي باشد و بالاخره اگر يك آلاينده به لحاظ بيولوژيكي فعال نباشد ممكنست بزرگنمايي زيستي حاصل كند ولي مشكلي ايجاد نخواهد كرد.

تحقيقات نشان داده است كه تمام فلزات سنگين مي توانند در موجودات آبي تجمع يابند اما تنها و منحصرآ جيوه و احتمالا سلينوم و آرسينك مي توانند در زنجيره غذايي بزرگنمايي زيستي حاصل نمايند تا به آخرين مصرف كننده برسند (Chen et al, 2005, St. Louis et al, 1996). جيوه بصورت معدني وارد اكوسيستمهاي آبي مي شود، پس از ورود توسط ميكروارگانيزمهاي احياء كننده سولفات درستون آب و رسوبات كف به متيل جيوه احياء و بر اساس پديده تغليظ زيستي از آب به پلانكتونها گياهي منتقل و سپس به بي مهرگان آبي نظير زئوپلانكتونها و حشرات آبي كه از اولين حلقه زنجيره غذايي تغذيه مي نمايند انتقال و در بافت پروتئيني آنها از طريق باندهاي سولفيدي به آمينو اسيدها متصل و تجمع مي يابد، سپس متيل جيوه به ماهيان كوچك كه از بي مهرگان آبي، زئوپلانكتونها و حشرات آبي تغذيه مي نمايند منتقل مي شود، نهايتا اين ماهيان كوچك نيز توسط ماهيان شكارچي سطوح بالايي شبكه غذايي (سطوح چهارم و پنجم) خورده مي شوند و به اين ترتيب متيل جيوه در زنجيره هاي غذايي به حركت در آمده و در حلقه هاي بالاتر تجمع و بزرگنمايي زيستي حاصل مي نمايند. تصاوير ۱-۲ و ۳-۱ چرخه متيل جيوه در اكوسيستمهاي آبي را نشان مي دهد.



تصویر ۱-۲: نمایی شماتیک اتصال جيوه به باندهاي سولفیدی آمینواسيدهاي سلولهاي پروتئينی و تبديل آن به متیل جيوه.

ماهيان شكارچي راس هرم غذايي مثل اردك ماهيان غلظت هاي بالايي از متيل جيوه در بافت عضله خود دارند. جيوه بطور مستقيم از طريق مصرف ماهيان و يا بدليل استفاده گسترده آرد ماهي در صنايع دام و طيور و بطور غير مستقيم از مصرف فراورده هاي گوشتي وارد بدن انسان مي گردد (Chen et al, 2005).



تصویر ۱-۳ : چرخه مسیره عبور جیوه در اکوسیستمهای آبی

۵-۱ زنجیره غذایی اردک ماهیان

۱-۵-۱ اردک ماهیان

رده بندی اردک ماهیان از گذشته تا کنون دستخوش تغییراتی شده است (Berg, 1949) ولی اخیراً تقسیم بندی جدیدی برای اردک ماهیان معرفی نموده اند که آنرا در راسته آزاد ماهی شکلات (Salmoniformes) قرار می دهد (وثوقی و مستجیر، ۱۳۷۲). رده بندی اردک ماهیان بصورت زیر می باشد:

شاخه : Verteberata

زیر شاخه : Craniata

فوق رده : Gnathostomata

رده : Teleostomi

زیر رده : Protacanthoptergii

راسته : SALMONIFORMES

زیر راسته : ESOCOIDEI

تصویر ۱-۴ : اردک ماهی

فوق: ESOCOIDEA



خانواده

خانواده : Esocidae

جنس : Esox

گونه : *Esox Lucius* Linnaeus, 1758

D.VI-X ۱۳-۱۶ A.IV – VII ۱۰-۱۳ L.L ۱۲۲

14-17
12-15

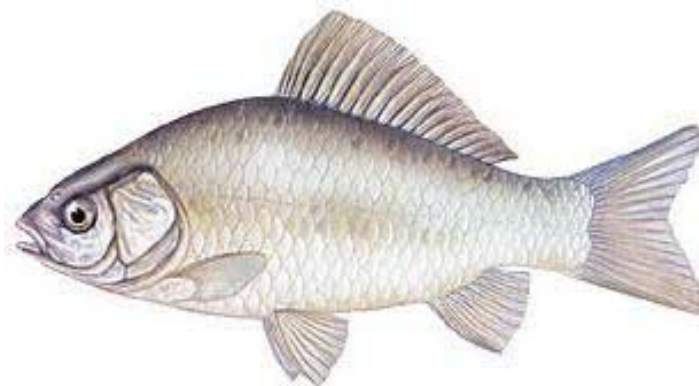
خصوصیات کلیدی

دهان بزرگ، پوزه کشیده و منقار مانند بر روی آرواره، دندانها قوی بوده و باله چربی ندارد و باله پشتی در انتهای بدن در بالای باله مخرجی است. حداکثر طول و وزن به ترتیب ۱۵۰۰ میلی متر و ۳۵ کیلوگرم است. ضمام دستگاه گوارش شامل دهان، مری، معده، روده و مخرج می باشد. دهان از نوع میانی و داخل آن دندانهای نوک تیز و متعددی بر روی سقف دهان، آرواره ها و حتی بر روی زبان مشاهده می شود. دندانها بسمت عقب سر برگشته اند که در صورت شکار، طعمه قادر به بیرون آمدن مجدد از دهان نخواهد بود. انواع بالغ آن بطور عمده از ماهیان استخوانی تغذیه می نمایند. در انواع جوان آن همجنس خواری دیده می شود (وثوقی و مستجیر، ۱۳۷۲). در اردک ماهیان کوچک و جوان ۳۰ درصد کل انرژی مصرفی، صرف فعالیتهای متابولیکی موجود می شود، این درحالیست که در کل ۷۸ درصد انرژی دریافتی در اردک ماهیان صرف فعالیتهای متابولیکی آنها می شود و هرچه سن بیشتر می شود ضریب هضم و جذب غذای مصرفی کاهش می یابد و ضریب تبدیل غذایی آن بزرگتر می شود. اردک ماهی جوان برای یک کیلو افزایش وزن نیاز به ۱۰-۸ کیلو غذا دارد. اردک ماهی ماده از جنس نر رشد سریعتری دارد. در سنین بالاتر هر ۲۵-۱۰ کیلوگرم غذا موجب افزایش ۱ کیلوگرم وزن آنها می شود (Ariag, 1996).

۱-۵-۲ معرفی گونه های موجود در زنجیره غذایی اردک ماهیان

در بررسیهای انجام شده روی محتویات معده ۳۱۸ قطعه اردک ماهی تالاب انزلی توسط نگارنده، گونه های: شاه کولی، تیزکولی، کاراس، گامبوزیا، سیم نما، سرخ باله، مخرج لوله ای و مروارید ماهی تشخیص داده شده اند، همجنس خواری نیز در آنها دیده شده است از اینرو در اینجا مختصراً به بیولوژی و اکولوژی گونه های موجود در زنجیره غذایی اردک ماهیان اشاره می گردد.

۱-۲-۵-۱ ماهی کاراس



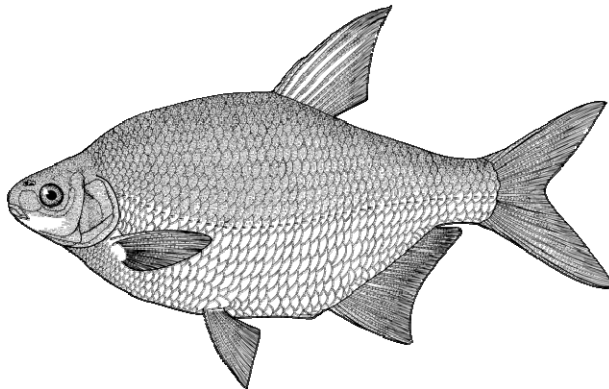
ماهی کاراس
gibelio

تصویر ۵-۱
Carassius auratus
(Bloch, 1783)

مشخصات کلیدی: 31-29 vert; 50-39 G.r.; 6-5 A II-III; 16-15 IV-III D (34), $\frac{5-7}{5-7}$

دندان حلقی یک ردیفی ۴-۴، دهان نیمه زیرین، فلسها بزرگ و ضخیم، بدن پهن و آخرین شعاع غیر منشعب باله پشتی و مخرجی ضخیم و دنداندار است. محل زیست آن در آبهای ساکن یا با جریان آبی کند پوشیده از گیاهان آبی با بستری نرم می باشد. از ماهیان غیر بومی و مقاوم در برابر شرایط نامساعد محیطی است. اکثراً ماده را بوده و در تالاب انزلی بیش از ۹۵٪ و در رودخانه سفید رود بیش از ۸۰٪ جمعیت آن ماده بوده و در ۴-۳ سالگی بالغ می شوند. کاراس همه چیز خوار می باشد و از زئوپلانکتونها، فیتو پلانکتونها، حشرات آبی و سخت پوستان تغذیه می نماید. بیشینه طول ۳۵ سانتیمتر و وزن تا ۲۵۰۰ گرم می باشد (وثوقی و مستجیر، ۱۳۷۲).

۱-۵-۲-۲ ماهی سیم نما



تصویر ۱-۶ ماهی سیم نما (*Blicca bjoerkna transcaucasica* (Berg, 1916)

مشخصات کلیدی: D III 7-9 (10); A III 17-22; L.I 40 $\frac{8}{5}$ 48; G.r 14-21, vert. 40-42

دندان حلقی ۲ ردیفی ۲-۵-۲.۵، دهان تحتانی، باله‌های زوج قرمز و در انتها خاکستری، قطر چشم بزرگتر یا مساوی طول پوزه می‌باشد. در آب‌های گرم و کم عمق و پوشیده از گیاهان آبی و در رودخانه‌های با جریان آبی کند زندگی می‌نماید. در ۲ تا ۴ سالگی بالغ می‌شود. از پلانکتونها، سخت پوستان ریز، لارو حشرات و نرم‌تنان و گاهی گیاهان آبی تغذیه می‌کند. بیشینه طول ۲۵ سانتیمتر و وزن ۱۰۰ گرم می‌باشد (وثوقی و مستجیر، ۱۳۷۲).

۱-۵-۲-۳ ماهی سرخ باله



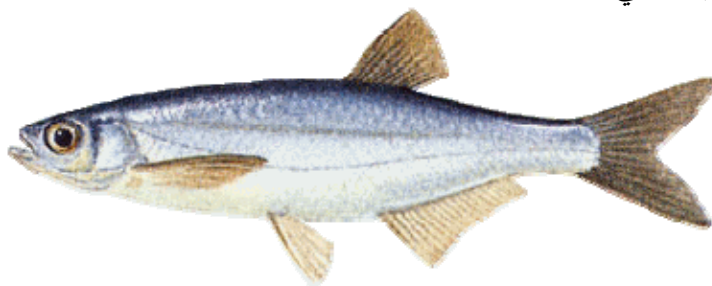
تصویر ۱-۷ ماهی سرخ باله (*Scardinius Erythrophthalmus* (Linnaeus, 1758)

مشخصات کلیدی:

D III 8-9 (10); A III (9) 10-11 (12); L.I (37) 38 $\frac{7-8}{4-3}$ 42(43) G.r.11-12

دندان حلقی دو ردیفی ۵.۳-۳.۵ و استثنائاً ۵.۲-۲.۵ و باله‌ها معمولاً قرمز رنگ می‌باشد. در نزدیکی سواحل دریاچه‌هایی که پوشیده از گیاهان آبی است به صورت گروهی بسر می‌برند. در ۲-۳ سالگی به بلوغ جنسی رسیده و عمدتاً از گیاهان آبی و به مقدار کمتر از نرم‌تنان و لارو حشرات و در سنین کم از پلانکتونها و بیشتر از زئوپلانکتونها تغذیه می‌نماید. بیشینه طول ۳۶ سانتیمتر و وزن ۴۰۰ گرم دارد (وثوقی و مستجیر، ۱۳۷۲).

۴-۲-۵-۱ مروارید ماهی



تصویر ۸-۱ مروارید ماهی نام علمی (*Alburnus charusini hohenackeri* (Kessler, 1877)

مشخصات کلیدی:

D III 7-9 A III 11-15 (16); L.I 39 $\frac{7-8}{3}$ 43 (44) (45) (46)

خارهای آبششی بیش از ۲۰ عدد دندان حلقی دو ردیفی ۲.۵-۵ یا ۱-۵ و ۵-۱، دهان مایل و بطرف بالا

کشیده شده است. بصورت گله ای در سطح آبهای ساکن با جریان کند و پوشیده از گیاهان آبی زندگی نموده و به ساحل نزدیک می شود. از پلانکتونها کرملها و لارو حشرات تغذیه می نمایند. بیشینه طول ۱۲/۵ سانتیمتر و وزن ۲۸ گرم می باشد (وثوقی و مستجیر، ۱۳۷۲).

۵-۲-۵-۱ ماهی مخرج لوله ای



لوله ای
(Bloch,

تصویر ۹-۱ ماهی مخرج
Rhodeus sericeus amarus
1782)

مشخصات کلیدی:

D III 9-10 ; A III 8-9 (10); squ 34-40 ; L.I.4-6(7) ; Vert. 34-36, G.r 8-10

دندان حلقی یک ردیفی ۵-۵، دارای نوار آبی متمایل به بنفش در پهلوها از وسط بدن تا ابتدای باله دمی بوده و خط جانبی ناقص است. در سواحل آبی پوشیده از گیاهان آبی با بستری شنی و لجنی زیست می نماید. اکثرا از گیاهان آبی تغذیه می نمایند. بیشینه طول ۷۵ میلیمتر و وزن ۱۰ گرم میانگین ۴/۷ سانتیمتر و ۲/۸ گرم می باشد (وثوقی و مستجیر، ۱۳۷۲).

۶-۲-۵-۱ تیزکولی



تصویر ۱۰-۱- تیزکولی *Hemiculter leucisculus* (Basilewsky, 1855)

مشخصات کلیدی: D II(III) 7; A III (10) 12-16 (17); L.I. 43 $\frac{8-9}{1-3}$ 53 G.r.25

دندان حلقی سه ردیفی ۲ و ۴ و ۵- ۲ و ۴- یا ۱ و ۴ و ۵- و ۵-۴-۱ دارای کیل شکمی یکپارچه از سینه تا مخرج و خط جانبی شکسته می‌باشد. در آبهای شیرین ساکن و کم عمق با جریان آبی کند و پوشیده از گیاهان آبی به صورت گله ای زندگی می‌نماید. از سخت پوستان و لارو حشرات، پلانکتونهای جانوری و گیاهی، گیاهان آبی و تخم سایر ماهیان تغذیه می‌کند. بیشینه طول ۲۵ سانتیمتر و وزن ۷۵ گرم می‌باشد (وثوقی و مستجیر، ۱۳۷۲).

۷-۲-۵-۱ گامبوزیا



Gambusia holbrooki

تصویر ۱۱-۱ گامبوزیا
(Girard, 1859)

مشخصات کلیدی: D 7; A 10

در نرها نخستین شعاع باله مخرجی کشیده و دنداندار، دومین شعاع باله مخرجی بلند و در انتها قلابدار که با یک زاویه به سمت جلو کشیده شده است. اندام انتقال اسپرم از تغییر شکل باله مخرجی بوجود می‌آید، در ناحیه سر دارای نوار تیره رنگ، دندانها تیز و مخروطی و باله دم گرد و با انحنا می‌باشد. زنده زاء، در مقابل عوامل نامساعد مقاوم و در نه‌های کوچک کانالها و مناطق باتلاقی پراکنده می‌باشد. از ماهیان غیر بومی است که جهت مبارزه با لارو و پشه مالاریا به آبهای ایران معرفی شده است. از بی مهرگان لارو حشرات و سخت پوستان پلاژیک تغذیه می‌نماید. بیشینه طول نرها حدود ۳/۵ و ماده‌ها حدود ۶ سانتیمتر و وزن ۳-۵ گرم می‌باشد (وثوقی و مستجیر، ۱۳۷۲).

۸-۲-۵-۱ شاه کولی



تصویر ۱-۱۲ شاه کولی (*Chalcalburnus mossulensis* (Heckel, 1843)

مشخصات کلیدی:

D.III A.III ۱۱-۱۲ LL ۷۲-۸۴

تعداد خارهای آبششی از اولین کمان بر روی قسمت بیرونی ۱۵-۱۱ و روی قسمت درونی ۲۰-۱۵ می باشد. ارتفاع بدن کمتر از اندازه سر (۲۵%-۲۰%). قست بالایی خط جانبی تیره رنگ و قسمت زیر آن سفید. متوسط اندازه ۱۲۵ تا ۱۷۰ میلیمتر است. در قسمت‌های میانی و فوقانی رودخانه هایی که دارای آب شفاف، سرد، بستر قلوه سنگی و سرعت حدود ۱ متر بر ثانیه و شیب ۲-۳ درصد دیده می شود و از حشرات آبی و سایر بی مهرگان آبی تغذیه می نمایند (وثوقی و مستجیر، ۱۳۷۲).

فصل دوم

سابقه و پیشینه تحقیق

باتوجه به روند روبه تزاید آلودگیهای زیست محیطی بویژه آلودگی اکوسیستمهای آبی در سالهای اخیر مطالعات بسیاری جهت ارزیابی میزان جیوه بعنوان خطرناک ترین عنصر آلاینده محیط زیست در اکوسیستمهای آبی و آبیان به انجام رسیده است که از آنجمله می توان به تحقیقات صورت گرفته توسط سازمان منطقه ای حفاظت محیط زیست دریایی- راپمی در سال ۱۳۸۱ اشاره نمود که ایران یکی از اعضا آن بشمار می رود. در پروژه غربال آلاینده های محدوده دریایی راپمی میزان فلزات سنگین در آب، رسوب و موجودات مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پروژه میانگین میزان متیل جیوه در ماهیان آبهای عربستان، کویت، قطر و امارات بترتیب ۶۵۰، ۷۲۸، ۶۹۵ و ۹۲۷ نانوگرم در گرم وزن مرطوب اندازه گیری شد که در همه موارد بیش از حد بحرانی مصرف انسان (۲۰۰ نانوگرم در گرم) می باشد (سازمان محیط زیست، ۱۳۸۲). بعلاوه تحقیقات مشابهی توسط Jewett و همکارانش در سال ۲۰۰۱ بر روی اردک ماهی آبهای غرب آلاسکا، میزان متیل جیوه در عضله اردک ماهی ۱۵۰ نانوگرم در گرم وزن مرطوب اندازه گیری شد، بعلاوه ارتباط مستقیم و قابل توجهی بین میزان جیوه و طول ماهی بدست آمد (Jewett et al, 2002).

Garcia و همکارانش در سال ۲۰۰۰ نشان دادند که میزان متیل جیوه در توده زئوپلانکتونهای ۳۸ دریاچه در کشور کانادا از ۳۵ نانوگرم در گرم تا ۳۷۷ نانوگرم در گرم وزن خشک متغیر بوده و میانگین مقدار متیل جیوه در عضله اردک ماهی از ۸۱ نانوگرم در گرم تا ۶۱۰ نانوگرم در گرم وزن خشک بوده است. در دریاچه هائیکه مقدار جیوه کل در اردک ماهی بیشتر بوده مقدار متیل جیوه در زئوپلانکتون های همان دریاچه ها نیز بیشتر بوده است. در این تحقیق رگرسیون بدست آمده با استفاده از طول ماهی بسیار قابل توجه و حاکی از ارتباط مستقیم طول کل ماهی با میزان تجمع جیوه می باشد. بعلاوه اردک ماهیان نر نسبت به جنس ماده هم اندازه خود مقدار بیشتری جیوه دارند که احتمالاً ناشی از دفع مقادیر قابل ملاحظه ای جیوه همراه تخم در زمان تخمیزی ماهیان ماده می باشد (Garcia & Carignan, 2000).

Adimado و Baah نیز در سال ۲۰۰۱، میزان تجمع جیوه در برخی از ماهیان رودخانه های Ankobra و Tano در جنوب غربی کشور غنا را مورد بررسی و گزارش نمودند که متوسط مقدار جیوه در نمونه های مورد آزمایش ۰/۲۵ قسمت در میلیون وزن مرطوب بوده است. بعلاوه ارتباط مثبتی بین میزان غلظت جیوه با طول، وزن و سن ماهیان یافتند بنحویکه با افزایش طول، وزن و سن، میزان غلظت جیوه در این ماهیان افزایش می یابد که این الگو بطور مشخصی بازگو کننده تغلیظ زیستی جیوه در طول زنجیره غذایی می باشد (Adimado & Baah, 2002).

از نمونه‌های مورد بررسی در این رودخانه‌ها، ۹/۳ درصد نمونه‌ها بیش از ۰/۵ قسمت در میلیون وزن مرطوب جیوه داشتند یعنی بیش از استاندارد سازمان جهانی بهداشت، و در ۱۳ درصد نمونه‌ها بیش از ۰/۳ قسمت در میلیون وزن مرطوب بوده است (Adimado & Baah, 2002). طی بررسی بعمل آمده توسط Gonzalez و همکارانش میزان تجمع جیوه در لابستر خلیج Arauco واقع در کشور شیلی اندازه گیری شد. لابستر از آنجا انتخاب گردید که بر اساس زنجیره غذایی اولین حلقه متصل به بستر می‌باشد، مقادیر میانگین جیوه در رسوبات منطقه ۰/۳۶ قسمت در میلیون اندازه گیری شد و در لابستر ۰/۳۱ قسمت در میلیون تعیین گردید (Gonzalez et al, 2003). در سال ۲۰۰۱ طی بررسی تجمع فلزات سنگین در ماهیان دریای Barents واقع در منطقه قطب شمال توسط Zauke و همکارانش، بافت عضله ۱۵ گونه ماهیان دریایی مورد آزمایش واقع شد و میانگین جیوه از ۰/۱ تا ۱/۳۵ میلی گرم در کیلوگرم وزن مرطوب متغیر بوده است (Zauke et al, 2001). Sager در سال ۲۰۰۳، میزان جیوه در بافتهای بعضی از ماهیان مصبی خورهای سواحل تگزاس را مورد بررسی قرار داد، نتایج حاکی از این بود که مقدار جیوه در بافت عضله ماهیان بطور آشکاری یکنواخت است. ماهی flounder کمترین میانگین غلظت جیوه در عضله را داشته و از ۰/۰۶ تا ۰/۱۶ قسمت در میلیون وزن مرطوب متغیر بوده است. Sager عنوان نمود که تفاوت غلظتهای جیوه در بین گونه‌ها، متأثر از زمان واقع شدن در معرض آلودگی، مقدار آلودگی، سن و زیستگاه تغذیه ای گونه هاست (Sager, 2004). در بررسی بعمل آمده توسط Goldstein و همکارانش در سال ۱۹۹۶، نتایج نشان داد که ماهیان سواحل تگزاس آمریکا دارای میانگین غلظت جیوه در حد ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ قسمت در میلیون در وزن مرطوب می‌باشند. مقدار جیوه کل در کبد ماهیهای Flounder، Spotted seatrout و Red drum بترتیب در محدوده‌های ۰/۰۷ تا ۰/۶۳ و ۰/۱۳ تا ۰/۲۱ و ۱۰ تا ۰/۲ قسمت در میلیون وزن مرطوب متغیر بوده است و در اغلب موارد مقدار جیوه کبد کمتر از عضله گزارش گردید. البته مطالعات دیگر نیز چنین ناهمگونی در خصوص توزیع تجمع جیوه در اندامهای مختلف را نشان داده‌اند. این موضوع منعکس کننده این نکته می باشد که در صورت مقدار پائین جیوه در محیط، تجمع زیستی آن نمیتواند در حدودی باشد که جیوه در کبد تجمع یابد (Goldstein et al, 1996). بعلاوه رگرسیون خطی بدست آمده از ارتباط بین جیوه کبد و عضله با طول و وزن این ماهیان نیز نتایج ناهمگونی به همراه داشته است، هیچ گونه رگرسیون آماری قابل توجهی برای ماهی Spotted seatrout بدست نیامد، حتی زمانیکه مقدار جیوه کبد با عضله مورد مقایسه قرار گرفت نیز نتایج آماری قابل توجهی حاصل نگردید، مقایسه جیوه عضله در مقابل جیوه کبد رگرسیون آماری قابل توجهی به همراه داشته بنحویکه غلظت جیوه کبد بمراتب بیشتر بوده است.

رگرسیون مقدار جیوه در کبد و عضله در مقایسه با طول و وزن قابل توجه بوده و در مجموع رگرسیونهای خطی نشان دادند که با افزایش طول و وزن بر مقدار جیوه افزوده می‌گردد. در مجموع نتایج نشان داده است که تجمع جیوه معمولاً ارتباط مستقیم و مثبتی با سن و طول ماهی دارد (Goldstein et al, 1996). Yigit و Altidag در سال ۲۰۰۵، غلظت جیوه در شبکه غذایی دریاچه Beyşehir را مورد سنجش قرار دادند. میانگین غلظت جیوه در آب این دریاچه در حدود ۰/۲۸ و در رسوبات ۰/۲۴ قسمت در میلیون وزن مرطوب اندازه گیری شد و میزان جیوه در بافت عضله ماهیان بطور متوسط ۰/۱۲ قسمت در میلیون بوده است (Altidag & Yigit, 2005). در سال ۲۰۰۱، Saleh و Doush مقدار جیوه موجود در میگو و ماهیان سواحل خلیج عربستان سعودی را مورد سنجش قرار داده و مقدار جیوه در

بافت عضله میگو و ماهیهای Duple-bream، Emperors Robitfish و ماهی Greasy grouper را بترتیب ۰/۰۲۲، ۰/۱۰۵، ۰/۰۰۲، ۰/۰۵۵ و ۰/۰۳۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن مرطوب گزارش نمودند (AL-Saleh & AL-Doush, 2001). Wren و همکارانش نیز وابستگی بین مقادیر جیوه را در ماهی Walleye و اردک ماهی شمالی دریاچه Ontario اندازه گیری نمودند. غلظت متوسط جیوه در walleye و اردک ماهی شمالی، بترتیب ۰/۶۵ و ۰/۵۲ میکروگرم بر گرم بود (Wern *et al* , 1999).

Lange و همکارانش در سال ۱۹۹۳ مشاهده کردند که در ماهی Large mouth bass، غلظت جیوه بیش از اندازه ماهی، با سن ماهی همبستگی مثبت دارد (Lange *et al* , 1993). Madany و همکارانش طی گزارشی در سال ۱۹۹۶ میانگین کل جیوه در نمونه‌های ۱۶۲ قطعه ماهی از سواحل بحرین را ۰/۰۸۴ میکروگرم بر گرم در وزن تر اعلام نمودند (Madany *et al* , 1996). Haggett و همکارانش (۲۰۰۰) رسوبات و ماهیان سه دریاچه Eina، Sadris، Grenada که در سه حوضه آبریز در شمال رود می‌سی‌سی‌پی قرار دارند را بمنظور ارزیابی آلودگی جیوه جمع آوری کردند. در سال ۱۹۹۸ غلظت متوسط جیوه کل در رسوبات دریاچه‌های گراندادا، ایند و سادریس بترتیب ۰/۱۱۲، ۰/۰۸۸ و ۰/۱۳۳ میلی گرم بر کیلو گرم بود. غلظت جیوه در رسوبات طی سال ۱۹۹۹ در هر سه دریاچه مشابه بوده اما کمتر از سال ۱۹۹۸ بود. غلظت متوسط جیوه کل در فیله خوراکی ماهیهای جمع آوری شده از رودخانه ایند در سال ۱۹۹۸ بیش از سطح سازمان بهداشت جهانی (< ۱ میلی گرم بر کیلو گرم) بود. در ماهی باس ۱/۴۰، در ماهی Crappie، ۱/۶۹ و در ماهی Gar، ۱/۸۹ میلی گرم بر کیلو گرم بود، در صورتیکه غلظت جیوه در بافت کپور و گربه ماهی بترتیب ۰/۶۳ و ۰/۸۲ میلی گرم بر کیلو گرم بود (Haggett *et al*., 2000).

Jewett و همکارانش در سال ۲۰۰۲ گزارشی از مقادیر جیوه کل و متیل جیوه در اردک ماهی شمالی و ماهی grayling در رودخانه های غرب آلاسکا منتشر نمودند که غلظت متوسط جیوه کل و متیل جیوه در عضله اردک ماهی به ترتیب ۱/۵۰۶ و ۰/۶۲۸ میلی گرم بر کیلو گرم، و در عضله grayling را بترتیب ۰/۲۶۴ و ۰/۰۷۸ میلی گرم بر کیلو گرم گزارش نمودند. در ماهی ازاد نیز غلظت متوسط جیوه کل در عضله ۰/۰۳۲ میلی گرم بر کیلو گرم اندازه گیری شد. همبستگی مثبت معنی داری بین مقادیر جیوه و طول ماهیان در رودخانه های غرب آلاسکا دیده شد (Jewett *et al* , 2002).

در سال ۲۰۰۰، Al- Majed و Preston، میزان غلظت جیوه کل و متیل جیوه در زئوپلانکتونهای خلیج کویت و مناطق شمالی کویت را بین ۰/۰۰۴-۰/۰۳۵ میکروگرم در گرم وزن خشک با کمتر از ۲۵ درصد متیل جیوه گزارش نمودند. همچنین غلظت جیوه کل و متیل جیوه در ۳۳۰ قطعه از گونه‌های مختلف ماهیان این منطقه را از ۰/۰۷۳ میکروگرم در گرم تا ۳/۹۲۳ میکروگرم در گرم گزارش نمودند. میزان کل جیوه با متیل جیوه در سطح احتمال ۰/۰۱ دارای ارتباط معنی دار بود. همچنین ارتباط معنی داری با طول و وزن نیز مشاهده شد (Al- Majed & Preston, 2000). سازمان حفاظت محیط زیست آمریکای گزارشی میانگین غلظت جیوه در ماهیان کفزی خوار نظیر کپور، Channel catfish و White sucker را بترتیب ۰/۱۱، ۰/۱۱ و ۰/۰۹ میکروگرم در گرم، در ماهیان شکارچی Walleye، Small mouth bass، Large mouth bass و قزل‌الای قهوه ای بترتیب ۰/۴۶، ۰/۳۴، ۰/۵۲ و ۰/۱۴ میکروگرم در گرم اعلام نمود (U.S. EPA.2001).

Akagi و Ikingura در سال ۲۰۰۲ میزان جیوه کل و متیل جیوه در گونه‌هایی از ماهیان تانزانیا با سطوح مختلف غذایی را تعیین نمودند. مقادیر جیوه این ماهیان در دامنه ۵ تا ۱۴۳ میکروگرم در کیلوگرم وزن تر در حوضه آبریز Mtera و از ۷ تا ۱۱۹ میکروگرم در کیلوگرم وزن تر در حوضه آبریز Kidatu و پایین دست رودخانه Great Ruaha بود. کمترین مقدار جیوه در ماهیان حوضه آبریز Nyumba ya Mungu که یکی از قدیمی ترین حوضه‌های آبریز تانزانیا است از ۱۰-۱ میکروگرم در کیلوگرم وزن تر متغیر بود. گونه‌های ماهیخوار مقدار جیوه بیشتری نسبت به گونه‌های گیاهخوار داشتند (Ikingura & Akagi, 2002). Dorea و همکارانش (۲۰۰۳) در ماهی Serrasalmus rhombeus و

Rasalmus aff eigenmanni از رود آمازون نشان دادند که با افزایش میزان جیوه در آب بعلاوه pH پایین، میانگین غلظت جیوه در هر دو گونه افزایش می یابد. این نتایج با اندازه ماهی رابطه مثبتی نشان داده است (Dorea et al, 2003).

Campbell و همکارانش (۲۰۰۳)، غلظت جیوه کل در گونه‌هایی از ماهیان دریاچه‌های Turkana، Naivasha و Baringo در کشور کنیا را اندازه گیری کردند. بالاترین غلظت در بیرماهی ماهیخوار دریاچه تورکانا، ۶۳۶ نانوگرم در گرم اندازه گیری شد. جیوه کل در گونه‌های Perciforme و سوف نیل در دریاچه تورکانا و ماهی باس دهان گشاد دریاچه نای و اش، بین ۴ تا ۹۵ نانوگرم در گرم بود. گونه‌های تیلاپیا در همه دریاچه‌ها غلظت پائینی از جیوه کل بین ۲ تا ۲۵ نانوگرم در گرم داشتند. در دریاچه نای و اش، در گونه‌های Crayfish و Procamburus clarkii، غلظت جیوه کل با آنچه در گونه‌های تیلاپیا از سایر دریاچه‌ها مشاهده شده بود مشابه بود. غلظت جیوه کل در همه گونه‌های ماهی مورد مطالعه با وضعیت غذایی شناخته شده آنها سازگاری داشته و بیشترین غلظت مربوط به ماهیخواران بود و بترتیب در همه چیزخواران، حشره خواران و تجزیه کنندگان کاهش داشت. بجز دو مورد استثنا غلظت جیوه کل در ماهیان عموماً زیر حد توصیه شده سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰ نانوگرم در گرم) برای گروه‌های در معرض خطر بود (Campbell et al, 2003)، بعلاوه در سال ۲۰۰۴، FDA گزارشی در مورد مقادیر جیوه در ماهیان تجاری و دو کفه ایها بر اساس ممیزیهای انجام گرفته در فواصل سالهای ۲۰۰۳-۱۹۹۰ ارائه داد، طبق این گزارش گونه‌های Mackerel، Shark، Swordfish و Tilapia دارای بیشترین مقادیر جیوه و گونه‌هایی نظیر Anchovies، Catfish، Trout، Salmon و Tilapia دارای کمترین مقادیر جیوه بودند (FDA, 2004).

Weech و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۴ غلظت جیوه در آب، رسوبات سطحی و قزل آلاهی رنگین کمان کوچکتر از ۴۰ cm از دریاچه Pinchi در کانادا و چند دریاچه مجاور شاهد را اندازه گیری کردند. غلظت جیوه در نمونه‌های رسوبات دریاچه پینچی در مقایسه با دریاچه‌های مرجع، خصوصاً در جریانهای پایین دست یک معدن قدیمی جیوه، بسیار افزایش یافته بود. در هر دو گونه ماهی اندازه گیری شده، غلظت جیوه بطور مثبت با سن و یا طول چنگالی ارتباط داشت (Weech et al, 2004).

در سال ۲۰۰۴، Weis غلظت جیوه را در بافت عضله شش گونه ماهی صید شده در ۱۷ نقطه از بخش کانادایی دریاچه Great را با استفاده از یک سیستم نرم افزاری زیست محیطی، آنالیز و افزایش خطی بین غلظت جیوه و طول ماهیان را مشاهده نمود (Weis, 2004). در سال ۲۰۰۵ نیز Mirlean و همکارانش مقادیر جیوه در دریاچه جنوب برزیل را اندازه گیری و ارتباط بین غلظت جیوه در باران، آب دریاچه، رسوبات و بافت ماهیان را در ایستگاههای نزدیک به مناطق صنعتی، حومه شهر و دور از منابع انتشار جیوه (یعنی مناطق حفاظت شده) اندازه گیری و همچنین ارتباط بین جیوه در گونه‌های ماهیان و زیستگاههای غذایی را بررسی کردند که گونه‌های پلانکتون خوار کمترین میانگین جیوه و گونه‌های ماهیخوار بیشترین غلظت جیوه را در دریاچه‌های طبیعی و حومه شهر از خود نشان دادند. غلظت جیوه ارتباط مثبت و معنی داری با طول چنگالی گونه‌های مورد بررسی داشت (Mirlean et al, 2005).

فصل سوم : مواد و روشها

۱-۲ مواد

۱-۱-۲ انتخاب محل

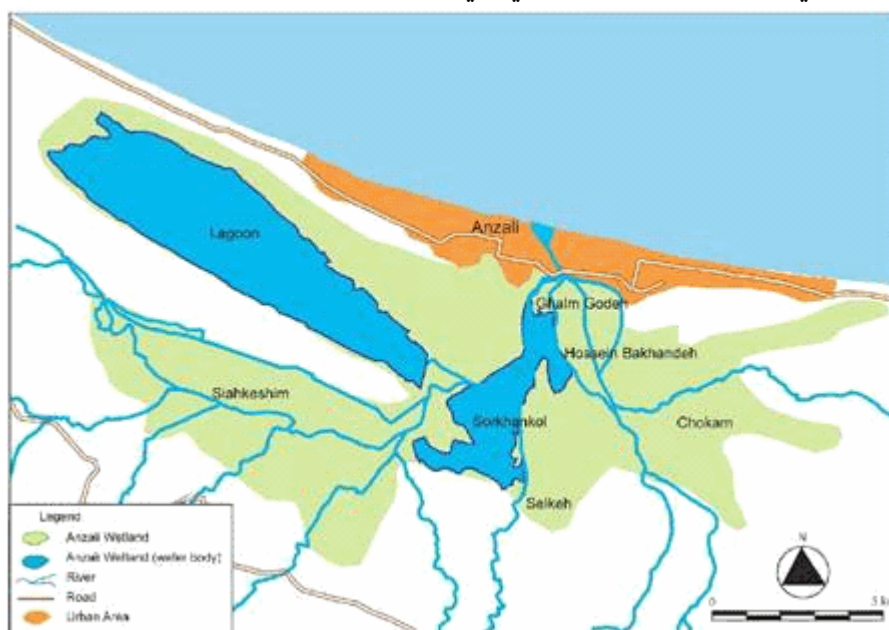
نمونه برداري در چهار منطقه از تالاب بين المللي انزلي بمنظور پوشش دادن كل جامعه اردك ماهيان و طعمه هاي عمده آن اجرا گرديد (شكل ۱-۵):

الف- شرق تالاب، منطقه شيجان با عمق كم حدود ۱/۵ متر بستر گلي لجني پوشش وسيع ماكروفيتهاي غوطه ور شناور و حاشيه اي و محل ورود رسوباتي شهر صنعتي رشت با طول جغرافيايي ۵۷ و ۴۷ و ۴۹ شرقي و عرض جغرافيايي ۵۱ و ۲۷ و ۳۷ شمالي.

ب- مركز تالاب، منطقه تالاب مركزي با بستر گلي-دتريتي و پوشش هاي پراكنده گياهان آبري با طول جغرافيايي ۴۰ و ۲۴ و ۴۹ شرقي و عرض جغرافيايي ۲۰ و ۲۷ و ۳۸ شمالي.

ج- جنوب تالاب، منطقه سياه کشيم با بستر گلي-دتريتي و پوشش هاي متراكم ماكروفيتهاي، با طول جغرافيايي ۵ و ۲۳ و ۴۹ شرقي و عرض جغرافيايي ۳۷ و ۲۴ و ۳۷ شمالي.

د- غرب تالاب، منطقه آبكنار كه وسيعترين بخش تالاب را بخود اختصاص مي دهد داراي بستر گلي و بسيار نرم همراه با مقدار قابل توجهي دتريتهاي گياهي عمق متوسط ۱/۵ متر و داراي پوشش هاي از ماكروفيتهاي غوطه ور و حاشيه اي قابل توجه مي باشد. طول جغرافيايي آن ۴۰ و ۲۴ و ۴۹ شرقي و عرض جغرافيايي آن ۲۰ و ۲۸ و ۳۷ شمالي مي باشد.



تصویر
۳ تالاب انزلی

۲-۱-۲ نمونه برداري

نمونه برداري از تير ماه ۱۳۸۳ تا مرداد ماه ۱۳۸۴ با استقرار دام گوشگير با اندازه چشمه‌هاي مختلف و همچنين استفاده از دستگاه الكترو شوكر جهت صيد ماهيان صورت گرفت. جهت تكميل نمونه‌ها در گروه‌هاي طولی و سنی مورد نظر، بخشی از نمونه‌ها از بازار تهیه گردید. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه اکولوژی و ماهی شناسی مرکز تحقیقات شیلاتی استان گیلان-انزلی، بیومتری گردیده و فاکتورهای وزن، سن، طول استاندارد و جنسیت اندازه گیری و ثبت گردید. سپس بافت عضله پشתי، کبد و طحال ماهیان کد گذاری و در دمای ۲۰°C - سانتی گراد منجمد گردید. معده اردک ماهیان جداسازی و محتوای معده جهت شناسایی طعمه‌ها به تفکیک گونه ای و سهم درصد وزنی آنها مورد کالبد شکافی قرار گرفت.

نمونه‌هاي حاصل از محتوای معده ۳۱۸ قطعه اردک ماهی باتوجه به گروههای سنی و طولی، کالبد شکافی، کدگذاری و پس از شناسایی گونه‌ای طعمه‌ها، طعمه‌های سالم بیومتری و درصد وزنی آنها در محتوای معده اندازه گیری و ثبت شد. جهت تكمیل تعداد آماري نمونه‌ها با استفاده از الكتروشوكر تعداد مورد نیاز از هر گونه در گروه‌هاي سنی و طولی از مناطق نمونه برداري صيد و در مجموع پس از بیومتری ۲۳۸ قطعه ماهی متعلق به ۹ گونه مورد تغذیه اردک ماهیان در آزمایشگاه، بافت عضله پشתי آنها جداسازی کدگذاری و در ۲۰°C - منجمد گردید.

۲-۲ روشها

۲-۲-۱ آماده سازی نمونه‌ها

نمونه‌ها به آزمایشگاه شیلات دانشگاه تربیت مدرس نور منتقل گردیدند. ابتدا با استفاده از آون، نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد بمدت ۷۲-۴۸ ساعت خشک گردید و در هاون چینی بطور یکنواخت پودر و در قوطی‌های پلاستیکی بسته بندی، کدگذاری و به آزمایشگاه محیط زیست دانشگاه جهت آنالیز دستگاهی منتقل شدند.

۲-۲-۲ آنالیز دستگاهی

آنالیز دستگاهی با استفاده از دستگاه پیشرفته ویژه اندازه گیری جیوه Advanced Mercury Analyzer 254, LECO, Standard NO: ASTM, D-6722 صورت گرفت. نتایج بصورت هزارم میلی گرم بر کیلو گرم (ppb) وزن خشک گزارش گردید. آنالیز جیوه با این روش شامل سه مرحله اصلی است: ۱- مرحله تجزیه ۲- مرحله جمع آوری ۳- مرحله آشکارسازی. در مرحله تجزیه هنگامی که نمونه داخل دستگاه قرار داده می شود، توسط یک سیم پیچ خارجی، لوله احتراق تا ۷۵۰ درجه سانتی گراد گرم شده و نمونه به طور کامل تجزیه می شود. گاز آزاد شده برای انجام مرحله جمع آوری به یک آمالگاماتور منتقل می شود. آمالگاماتور با یک میل ترکیبی قوی با جیوه و دمای که به طور قابل توجه پایین تر از مرحله تجزیه است، تا حدود ۹۰۰ درجه سانتی گراد گرم می شود. گرمای زیاد باعث می شود تا جیوه جمع آوری شده آزاد شود. در مرحله آشکارسازی بخار جیوه در معرض نوری با طول موج ۲۵۳/۱ nm قرار می گیرد. میزان جیوه توسط نرم افزار Quick Silver بر روی مانیتور نمایش داده می شود. قابل ذکر است که کالیبراسیون دستگاه با استانداردهای Auto Select انجام گرفت.

۲-۲-۳ کنترل کیفی

به منظور ارزیابی قابلیت تجزیه و تحلیل روش مورد استفاده و صحت روش آنالیز جیوه، کنترل کیفی با استفاده از مواد استاندارد مرجع (NIST-1633 b(۱ NIST-2709(۲ و NIST - (۳) کنترل

2711 صورت گرفت (Al-Majed and Preston, 2000) و محدوده صحت (Recovery) دستگاه تعیین گردید.

۴-۲-۲ فاکتور بزرگنمایی زیستی جیوه:

بزرگنمایی زیستی جیوه از سطح یا سطوح غذایی پایین تر به انتهای زنجیره براساس روابط زیر محاسبه گردید.

$BAF_{ageA \text{ to } ageB} = (Up/In \text{ age A} + Up/In \text{ ageB}) / (Up/In \text{ age A})$

$Total \text{ Intake}(\text{year}) = \text{prey portion} * \text{food efficiency} * W_{pike} * Hg(\text{prey})$

میانگین میزان کل جیوه (ppb) وارده از هر طعمه به اردک ماهی میزان ورود جیوه در یک سن خاص

$Intake =$

$\text{prey portion} = (\%)$ سهم طعمه در جیره غذایی

$Food \text{ efficiency} =$ ضریب تبدیل غذایی اردک ماهی در یک سن خاص

$W_{pike} = \text{kg}$ سن خاص به

$Hg(\text{prey}) = (\text{ppb})$ میانگین جیوه در طعمه

۵-۲-۲ تعیین سطوح غذایی

با توجه به رژیم غذایی هر یک از طعمه ها در سطوح غذایی خود قرار داده شده و به اینترتیب سطوح غذایی اردک ماهیان تالاب تعیین گردید.

۶-۲-۲ روشهای آنالیز آماری داده‌ها

به منظور بررسی تفاوت میانگین غلظت جیوه موجود در بافتهای مختلف ماهیان نر و ماده و یا بالغ و نابالغ پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-wilk در صورت اثبات نرمالیتی داده‌ها پس از بررسی همگنی واریانس گروهها بوسیله آزمون leven از آزمونهای t غیر جفتی استفاده شد و در مواردی که توزیع مقادیر بدست آمده غیر نرمال تشخیص داده شد و با استفاده از روشهای تبدیل نیز نرمال نشد از آزمون u من ویتنی (U-ManVitni) استفاده شد (Pelosi & Sandefer, 2003). برای بررسی تفاوت میانگین غلظت جیوه موجود در بافتهای مختلف ماهیان در سنین متفاوت نیز پس از بررسی تفاوت میانگین غلظت جیوه موجود در بافتهای مختلف پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها در صورت اثبات نرمالیتی داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس یکطرفه (ANOVA one-Way) استفاده شد و در مواردی که تفاوت کلی گروههای سنی معنی دار تشخیص داده شد در صورت همگن بودن واریانسها از آزمون مقایسه چندگانه میانگینها با استفاده از روش SNK و در صورت غیر همگن بودن واریانسها از آزمون Dunnett's T₃ استفاده شد (Zar, 1998).

در مواردی که توزیع داده‌ها غیر نرمال تشخیص داده شد نیز از آزمون Kruskal- Wallis استفاده گردید. جهت بررسی همبستگی بین متغیرها نیز از آزمون همبستگی Spearman استفاده گردید و برای ارائه مدل آماری ساده پیش بینی مقدار جیوه بافتها با استفاده از ویژگیهای ظاهری ماهیان نیز پس از کنترل پیش فرضهای نرمال بودن توزیع باقی مانده‌ها و نیز معنی دار بودن پارامترهای وارد شده در مدل، از آزمون تجزیه رگرسیون ساده (خطی و غیر خطی) استفاده شد (Gomes & Gomes, 1984). لازم به ذکر است که در تمام مراحل آنالیز آماری خطای نوع اول مجاز ۵ درصد در نظر گرفته شد و برای نشان دادن عدم وجود تفاوت معنی دار بین میانگین داده‌های بدست آمده از گروههای مختلف نیز از حروف لاتین مشابه استفاده گردید (a>b>c>d>e). آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۱/۵ انجام پذیرفت.

فصل چهارم

تجزیه و تحلیل و بیان نتایج حاصل از تحقیق

۴-۱ نتایج کنترل کیفی آنالیز دستگاهی

جهت تضمین فرآیند و کنترل کیفی صحت آنالیز دستگاهی از سه نمونه استاندارد جیوه: NIST 1633b، NIST 2709 و NIS 2711 با تعداد ۷ تکرار برای هر استاندارد استفاده شد. محدوده ردیابی در حد ۰.۰۰۱ میلی گرم بر کیلو گرم وزن خشک بوده است. هر نمونه سه بار مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج بصورت میلی گرم بر کیلو گرم (ppm) وزن خشک گزارش گردید. محدوده صحت دستگاه^۴ از

۹۸.۵٪ تا ۱۰۳٪ متغییر و دقت ردیابی در حد ۰.۰۰۱ میلی گرم بر کیلو گرم وزن خشک با انحراف استاندارد ۰.۰۵٪ $RSD(N=7) < 0.05\%$ بوده است (جدول ۴-۱).

جدول ۴-۱: نتایج کنترل کیفی فرایند ردیابی و اندازه گیری جیوه کل (mg/kg d.w.).

SRM a	N o.	Certified value	Obtained mean	SD b	R c
NIST-1633b	7	0.141	0.135	0.018	95.5
NIST-2709	7	1.400	1.470	0.136	105
NIST-2711	7	6.250	6.340	0.215	101

a : Standard reference material.

b: Standard deviation.

c : Recovery (%)

۲-۴ نتایج بررسی زنجیره غذایی اردک ماهیان

نتایج حاصل از بررسی محتوای معده ۳۱۸ قطعه اردک ماهی با تشخیص گونه ای و تعیین درصودزنی طعمه های مورد تغذیه در سنین مختلف رشد نشان داده است که بخش عمده غذای اردک ماهی از ماهیهای کاراس، مخرج لوله ای، شاه کولی، سرخ باله، تیز کولی، گامبوزیا، مروارید ماهی و سیم نماتشکیل می شود که سهم هریک از آنها در سنین مختلف رشداین موجود در جدول ۴-۲ ارائه شده است.

جدول ۴-۲ سهم تقریبی (درصد وزنی) حلقه های مختلف زنجیره غذایی اردک ماهی در سنین مختلف رشد[†]

گونه	دو ساله	سه ساله	چهار ساله	پنج ساله
شاه کولی	۳	۱۵	۵	۰
مخرج لوله ای	۵	۱۰	۵	۰
گامبوزیا	۵	۱۰	۰	۰
کاراس	۳۰	۴۲	۵۰	۷۰
سیم نما	۱۰	۱۰	۵	۵
تیز کولی	۱۰	۱۰	۲۵	۲۰
مروارید ماهی	۵	۰	۰	۰
سرخ باله	۵	۳	۵	۰
اردک ماهی یکساله	۰	۰	۵	۵
مجموع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

[†] در اردک ماهیان یکساله امکان تفکیک محتوی معده وجود نداشته است.

با توجه به جدول ۴-۲ گونه های کاراس، تیزکولی و سیم نما، غذای غالب اردک ماهیان در تالاب انزلی را تشکیل می دهند. همجنس خواری پس از سال سوم زندگی در الگوی تغذیه ای آن دیده می شود. گونه کاراس بیشترین سهم را داشته و با افزایش سن اردک ماهی، سهم آن در لیست غذایی این ماهی افزایش می یابد. گونه های تیز کولی و سیم نما بطور نسبی سهم برابری در تغذیه اردک ماهی طی سالهای دوم و سوم زندگی دارند اما پس از آن سهم تیز کولی افزایش و سهم سیم نما کاهش می یابد. گونه های شاه کولی، مخرج لوله ای و گامبوزیا همراه با کاراس، تیزکولی و سیم نما عمده غذای اردک ماهی در سالهای دوم و سوم زندگی بشمار می روند. به نظر می رسد اردک ماهیان در سالهای دوم، سوم و چهارم زندگی از تنوع غذایی بیشتری برخوردارند.

۳-۴ نتایج آنالیز مقادیر جیوه در اردک ماهیها

مقادیر میانگین و اشتباه معیار غلظت جیوه در عضله پستی، کبد و طحال اردک ماهیهای مورد مطالعه در جدول ۴-۳ درج گردیده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری مقادیر جیوه در بافتهای مختلف این ماهیها (جدول ۴-۴) نشان می دهد که در سنین مختلف تفاوت آماری معنی داری بین غلظت جیوه در عضله، کبد و طحال اردک ماهیها وجود داشته است ($p < 0/01$). مقایسه میانگین غلظت جیوه در بافتهای عضله، کبد و طحال (شکل ۴-۱) نیز نشان می دهد که غلظت جیوه در عضله اردک ماهیهای یکساله کمتر از سایر طبقات سنی می باشد، اما با گذشت زمان غلظت جیوه در این بافت افزایش یافته و در ماهیان ۳ ساله و مسن تر به بالاترین میزان خود رسیده است. در کبد اردک ماهیها نیز اگرچه مانند عضله کمترین مقدار جیوه مربوط به یکساله ها بوده است، اما تا سال پنجم برغم وجود یک روند صعودی، افزایش معنی داری در مقدار جیوه در این بافت بوجود نیامده است (شکل ۴-۱). تغییرات جیوه در طحال اردک ماهیها کمی پیچیده تر از تغییرات آن در عضله و کبد آنها بوده است. بطوریکه غلظت جیوه در طحال ماهیان یکساله، چهارساله و پنج ساله، بالاترین و در سه ساله ها پایین ترین مقدار

را داشته است و ماهیان دو ساله از این نظر حالت حد واسطی را از خود نشان می‌دهند (شکل 4-1). بلوغ جنسی و جنسیت فقط بر متوسط غلظت جیوه در عضله و کبد آنها اثر داشته است ($p < 0.05$) بطوری که همواره به احتمال ۹۵ درصد اطمینان داریم که غلظت جیوه در عضله و کبد اردک ماهیهایی بالغ بیشتر از نابالغ و در عضله و کبد ماده‌ها بیشتر از نرها می‌باشد، این در حالیست که مقدار جیوه موجود در طحال اردک ماهیان بالغ و نابالغ و همچنین در جنسهای نر و ماده نسبت به هم با اعتماد ۹۵ درصد همواره تفاوت معنی داری نداشته است (شکلهای 4-۲ و 4-۳).

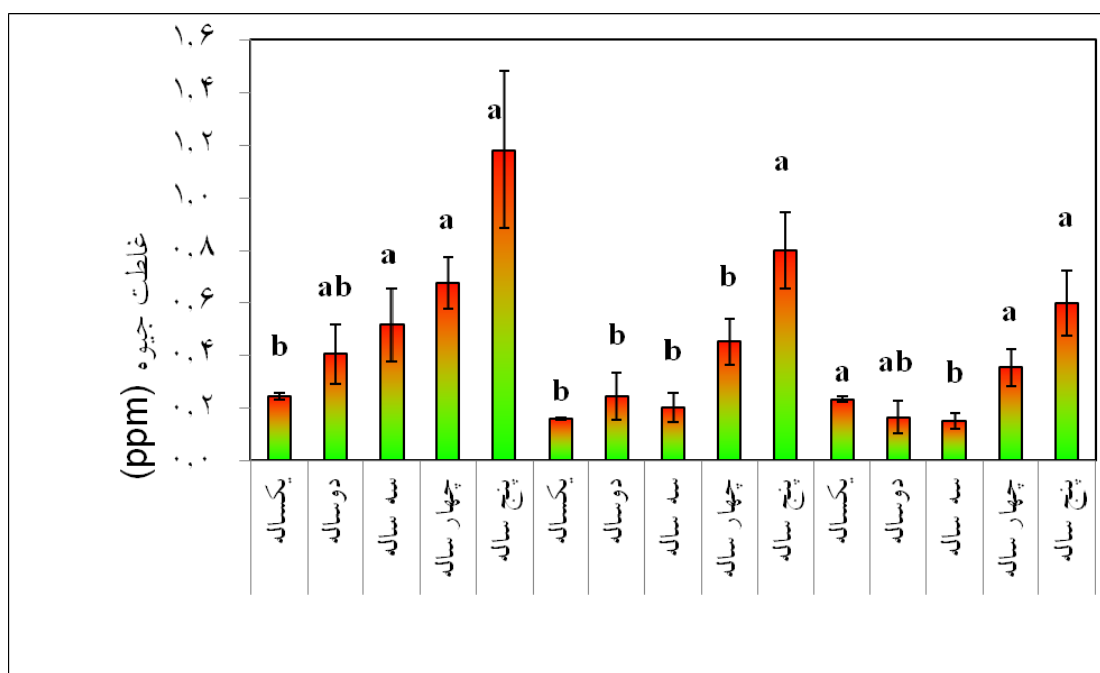
جدول ۳-۴ مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به مقدار غلظت جیوه در بافتهای مختلف اردک ماهیان

عامل		تعداد	جیوه موجود در عضله (ppb)		جیوه موجود در کبد (ppb)		جیوه موجود در طحال (ppb)	
			میانگین	اشتباه معیار	میانگین	اشتباه معیار	میانگین	اشتباه معیار
بلوغ	بالغ	۵۳	۷۴۷/۷۹	۹۹/۹۱	۷۶۷/۹۱	۶۱/۷۱	۳۵۵/۰۹	۴۹/۳۵
	نا بالغ	۲۵	۲۴۵/۸۱	۱۴/۰۵	۱۶۰/۷۹	۴/۶۱	۲۳۴/۰۱	۱۰/۹۱
	کل	۷۸	۵۸۶/۹۰	۷۲/۸۹	۳۶۹/۴۷	۴۴/۹۰	۳۱۶/۲۸	۳۴/۲۲
جنسیت	نر	۲۴	۵۳۱/۸۴	۱۱۰/۶۵	۳۸۸/۰۹	۱۰۰/۳۰	۲۹۱/۶۴	۷۵/۰۶
	ماده	۲۹	۹۲۶/۵۱	۱۵۱/۷۸	۵۳۳/۹۶	۷۵/۷۸	۴۰۷/۶۰	۶۴/۹۶
	کل	۵۳	۷۴۷/۷۹	۹۹/۹۱	۴۶۷/۹۱	۶۱/۷۱	۳۵۵/۰۹	۴۹/۳۵
سن (سال)	۱	۲۵	۲۴۵/۸۱	۱۴/۰۵	۱۶۰/۷۹	۴/۶۰	۲۳۴/۰۱	۱۰/۹۱
	۲	۵	۴۰۴/۷۴	۱۱۲/۵۲	۲۴۴/۸۸	۸۷/۳۴	۱۶۵/۴۲	۶۱/۹۰
	۳	۱۲	۵۱۶/۳۶	۱۳۹/۹۸	۲۰۲/۹۶	۵۵/۷۶	۱۵۱/۰۲	۳۰/۲۹
	۴	۲۲	۶۷۶/۶۶	۹۹/۵۴	۴۵۲/۱۴	۸۷/۷۹	۳۵۴/۷۰	۶۹/۵۳
	۵	۱۴	۱۱۸۰/۴۵	۷۱/۲۹۷	۷۹۹/۴۳	۱۴۳/۲۸	۵۹۸/۲۸	۱۲۳/۴۶
	کل	۷۸	۵۸۶/۹۰	۷۲/۸۹	۳۶۹/۴۷	۴۴/۹۰	۳۱۶/۲۸	۳۴/۲۲

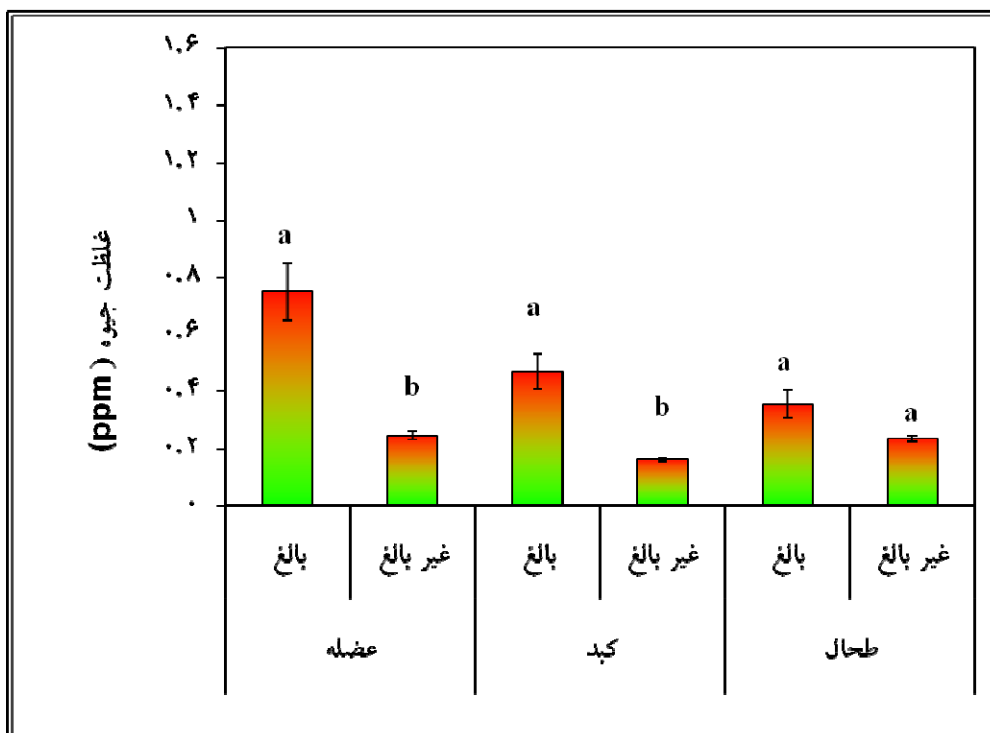
جدول ۴-۴ نتایج تجزیه و تحلیل مقادیر جیوه در بافتهای مختلف اردک ماهیان*

منبع تغییرات	بافت	شاخص آزمون	p	توضیحات
سن	عضله	$\chi^2(4)=21/433^{**}$	۰/۰۰۰	
	کبد	$\chi^2(4)=21/842^{**}$	۰/۰۰۰	
	طحال	$F(4, 73)=5/801^{**}$	۰/۰۰۰	داده‌ها تبدیل شد ((Ln (Hg +1))
بلوغ	عضله	$U=285/000^{**}$	۰/۰۰۰	
	کبد	$U=475/000^*$	۰/۰۴۵	
	طحال	$U=616/000^{ns}$	۰/۶۱۹	
جنسیت	عضله	$t(51)=-2/814^{**}$	۰/۰۰۷	داده‌ها تبدیل شد ((Ln (Hg))
	کبد	$U=217/000^*$	۰/۰۱۹	
	طحال	$U=279/000^{ns}$	۰/۲۱۸	

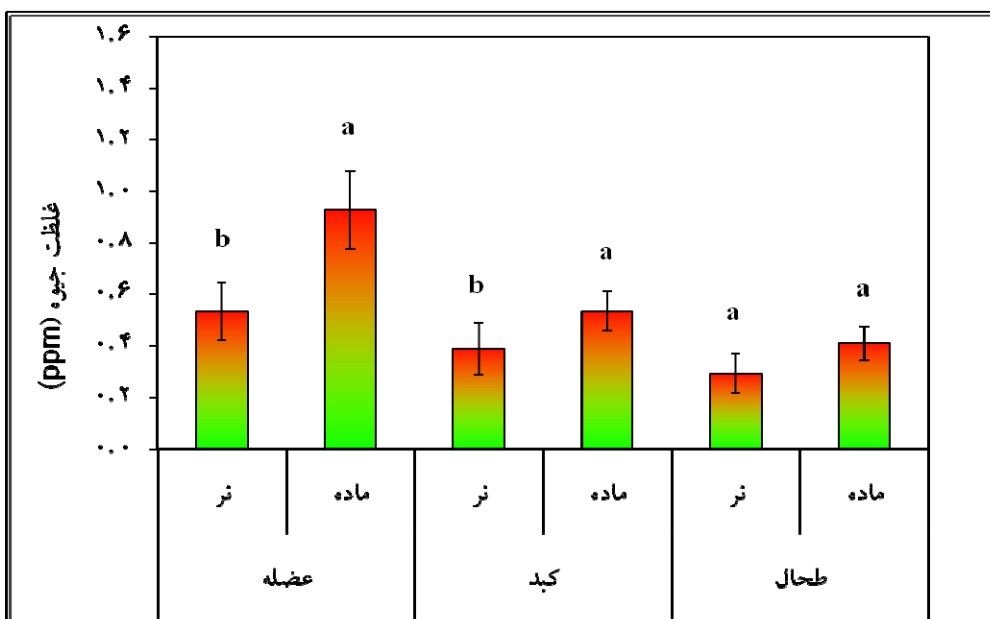
* علامتهای * و ** به ترتیب معرف وجود اختلاف معنی دار در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد بوده و ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱ نمودار مقایسه میانگین غلظت جیوه در بافتهای مختلف اردک ماهیان در سنین مختلف



شکل ۲-۴ نمودار مقایسه میانگین غلظت جیوه در بافتهای مختلف اردک ماهیان بالغ و غیر بالغ



شکل ۳-۴ نمودار مقایسه میانگین غلظت جیوه در بافتهای مختلف اردک ماهیان نر و ماده

با توجه به اشکال ۲-۴ و ۳-۴ بلوغ جنسی و جنسیت فقط بر متوسط غلظت جیوه در عضله و کبد آنها اثر داشته است ($p < 0/05$) بطوری که همواره به احتمال ۹۵ درصد اطمینان داریم که غلظت جیوه در عضله و کبد اردک ماهیهای بالغ بیشتر از نابالغ و در عضله و کبد ماده‌ها بیشتر از نرها باشد، این در حالیست که مقدار جیوه در طحال اردک ماهیان بالغ و نا بالغ و همچنین در جنسهای نر و ماده نسبت به هم با اعتماد ۹۵ درصد همواره تفاوت معنی داری نداشته است.

۴-۴ نتایج تجزیه و تحلیل مقادیر طول و وزن اردک ماهیان

مقادیر میانگین و اشتباه معیار طول و وزن اردک ماهیهای مورد مطالعه در جدول ۴-۵ درج گردیده است. نتایج تجزیه و تحلیل مقادیر طول و وزن اردک ماهیان (جدول ۴-۶) نشان می‌دهد، که در سنین مختلف تفاوت آماری معنی داری در طول و وزن اردک ماهیهای مورد مطالعه وجود داشته است ($p < 0/01$) اما تمایز جنسی نتوانسته است تاثیری بر مقدار متوسط طول و وزن این ماهیها داشته باشد ($p > 0/05$). مقایسه میانگین های طول و وزن اردک ماهیان (شکلهای ۴-۴ و ۴-۵) نیز نشان می‌دهد که ماهیان یکساله و غیر بالغ کمترین میزان وزن و طول را داشته اند، اما با افزایش سن به طور معنی داری طول و وزن آنها افزایش یافته و در ماهیان ۵ ساله به حداکثر میزان خود می‌رسد. طول و وزن اردک ماهیهای بالغ به صورت معنی داری بالاتر از ماهیان غیر بالغ بوده است. اما برغم پایین تر بودن مقدار برآورد نقطه ای میانگین طول و وزن ماهیهای نر، تفاوت معنی داری بین جنسیت‌های مختلف اردک ماهی وجود نداشته است ($p > 0/05$).

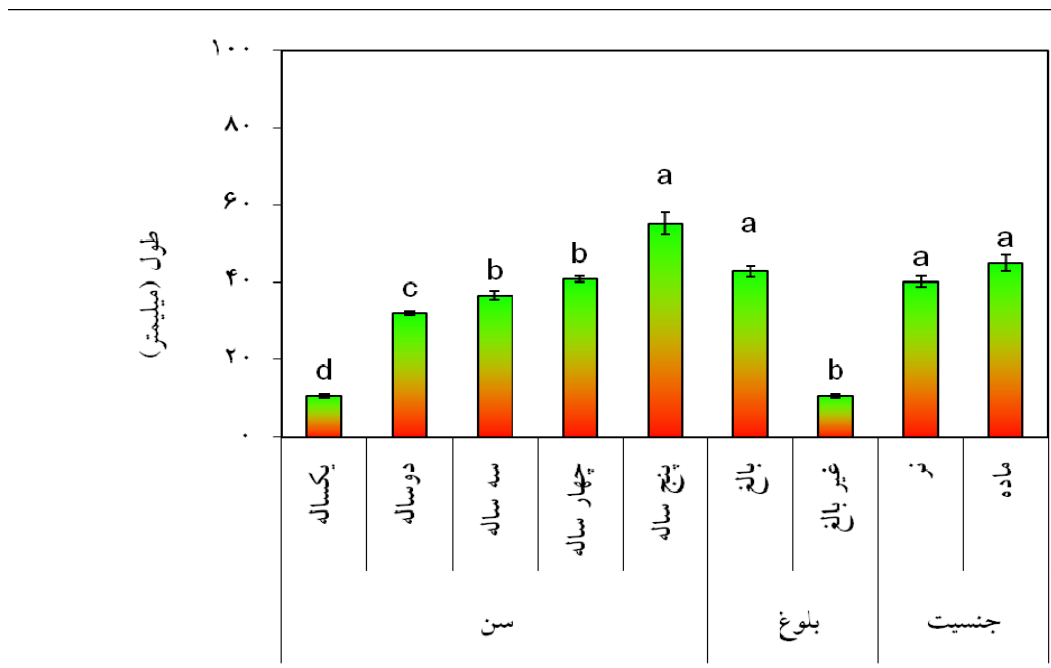
جدول ۵-۴ مقادیر شاخص‌های آماری مربوط به طول و وزن اردک ماهیهای مورد مطالعه

عامل		تعداد	طول (سانتیمتر)		وزن (گرم)	
بلوغ	بالغ		میانگین	اشتباه معیار	میانگین	اشتباه معیار
	نابالغ					
	کل					
جنسیت	نر	۲۴	۴۰/۲۵	۱/۴۵	۶۱۷/۲۵	۷۱/۶۶
	ماده	۲۹	۴۵/۱۲	۲/۱۵	۹۴۳/۴۸	۱۲۸/۷۱
	کل	۵۳	۴۲/۹۲	۱/۳۸	۷۹۵/۷۶	۸۰/۱۰
سن (سال)	۱	۲۵	۱۰/۶۰	۰/۴۷	۱۰/۱۶	۱/۴۸
	۲	۵	۳۲/۱۰	۰/۵۱	۲۸۱/۴۰	۱۶/۳۸
	۳	۱۲	۳۶/۵۴	۱/۲۰	۴۴۸/۱۷	۴۸/۱۸
	۴	۲۲	۴۱/۰۰	۰/۷۶	۶۴۴/۶۴	۴۰/۳۸
	۵	۱۴	۵۵/۲۵	۲/۸۴	۱۵۱۴/۸۶	۱۸۳/۱۳
	کل	۷۸	۳۲/۵۶	۱/۹۶	۵۴۳/۹۶	۶۸/۴۸

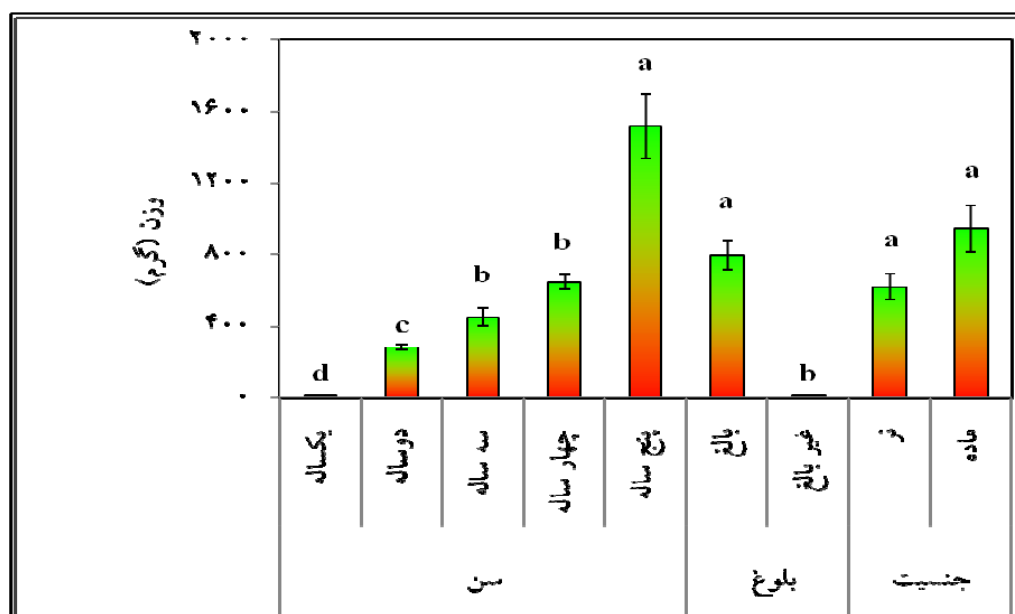
جدول ۶-۴ نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های طول و وزن اردک ماهی*

منبع تغییرات	متغیر	شاخص آزمون	p	توضیحات
سن	طول	$F(4, 73) = 292/887^{**}$	۰/۰۰۰	داده‌ها تبدیل شد $(Length^{1/2})$
	وزن	$F(4, 73) = 391/966^{**}$	۰/۰۰۰	داده‌ها تبدیل شد $(Ln(Weight + 2))$
بلوغ	طول	$U = 0/000^{**}$	۰/۰۰۰	
	وزن	$t(76) = 28/294^{**}$	۰/۰۰۰	داده‌ها تبدیل شد $(Ln(Weight))$
جنسیت	طول	$t(51) = -1/736^{ns}$	۰/۰۸۹	داده‌ها تبدیل شد $(Ln(Length))$
	وزن	$t(51) = -1/947^{ns}$	۰/۰۵۷	داده‌ها تبدیل شد $(Ln(Weight))$

* علامتهای * و ** به ترتیب معرف وجود اختلاف معنی دار در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد بوده و ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴: نمودار مقادیر طول بدن اردک ماهیان مورد مطالعه در طبقات مختلف سنی، بلوغ و جنسیت



شکل ۵-۴: نمودار مقادیر وزن بدن اردک ماهیان مورد مطالعه در طبقات مختلف سنی، بلوغ و جنسیت

۵-۴: نتایج بررسی رابطه آماری مقادیر جیوه در بافتها با طول و وزن بدن اردک

ماهی

مقادیر ضریب همبستگی و نتایج آزمون معنی دار بودن آنها (ضریب همبستگی اسپیرمن) بین طول و وزن اردک ماهیهایی مورد مطالعه در جدول ۷-۴ درج گردیده است. این نتایج که به صورت نیم ماتریس همبستگی ارائه شده نشان می‌دهد که غلظت جیوه در عضله، کبد و طحال اردک ماهیهایی مورد مطالعه به احتمال ۹۹ درصد در ارتباط مستقیم با یکدیگر بوده و با افزایش یکی، دیگری نیز به ترتیب افزایش یا کاهش می‌یابد. غلظت جیوه عضله و کبد اردک ماهیها ارتباط مستقیم با سن، طول و وزن بدن آنها دارد ($p < 0/01$) در حالیکه غلظت جیوه در طحال اردک ماهیها رابطه معنی داری با سن، طول و وزن بدن آنها ندارد ($p > 0/05$). عدم وجود رابطه آماری معنی دار می‌تواند به معنی خطی نبودن رابطه مذکور نیز باشد. همان طوری که در نتایج آنالیز رگرسیون ساده بین ویژگیهای اردک ماهیها و مقدار جیوه در بافتهای مختلف آنها (جدول ۸-۴) ملاحظه می‌گردد، روابط درجه ۲ و ۳ می‌توانند به مقدار بسیار زیادی تغییرات غلظت جیوه در طحال را از روی ویژگیهای ظاهری این ماهیها مثل سن، طول و وزن آنها پیش بینی نمایند. همچنین به منظور بالا بردن قدرت پیش بینی‌های علمی در مورد غلظت جیوه در عضله، کبد و طحال اردک ماهیهایی منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه بهترین رابطه رگرسیونی بین سن، طول و وزن بدن ماهیها و غلظت جیوه عضله، کبد و طحال آنها در جدول ۸-۴ و شکل‌های ۴-۶، ۴-۷ و ۴-۸ درج گردیده است.

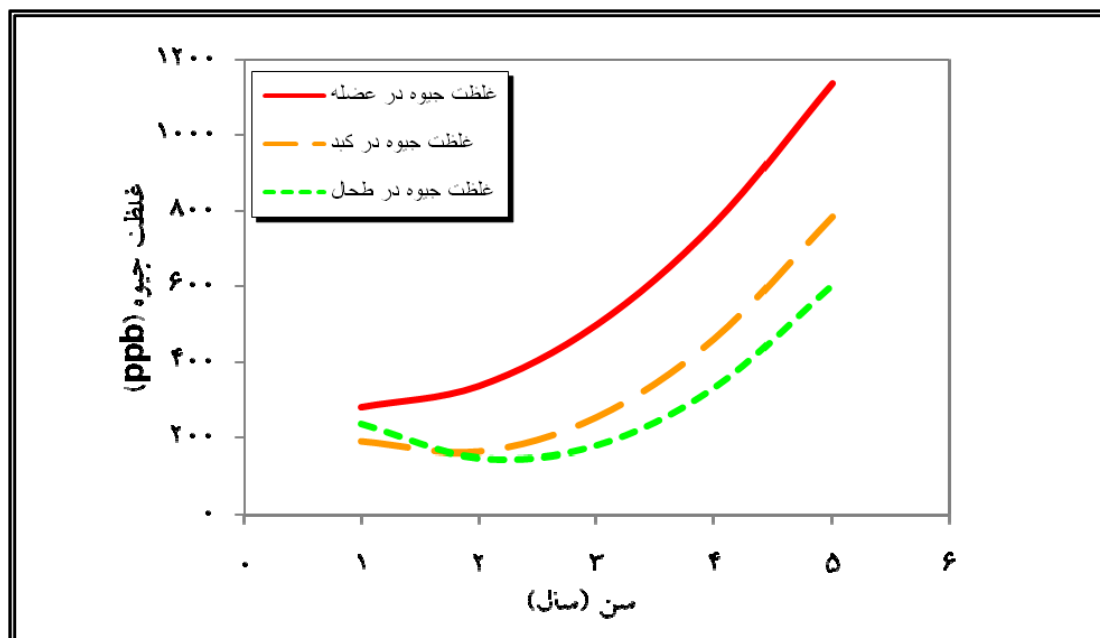
جدول ۷-۴ نتایج آنالیز همبستگی خطی جیوه و خصوصیات کمی اردک ماهیان

	سن	طول بدن	وزن بدن	جیوه عضله	جیوه کبد	جیوه طحال
سن	۱/۰۰۰					
طول بدن	۰/۹۲۹**	۱/۰۰۰				
وزن بدن	۰/۹۲۹**	۰/۹۹۵**	۱/۰۰۰			
جیوه عضله	۰/۵۲۵**	۰/۴۸۱**	۰/۴۹۱**	۱/۰۰۰		
جیوه کبد	۰/۴۴۴**	۰/۳۷۲**	۰/۳۷۲**	۰/۶۰۳**	۱/۰۰۰	
جیوه طحال	۰/۱۹۶ ^{ns}	۰/۱۳۱ ^{ns}	۰/۱۴۱ ^{ns}	۰/۴۹۸**	۰/۶۸۳**	۱/۰۰۰

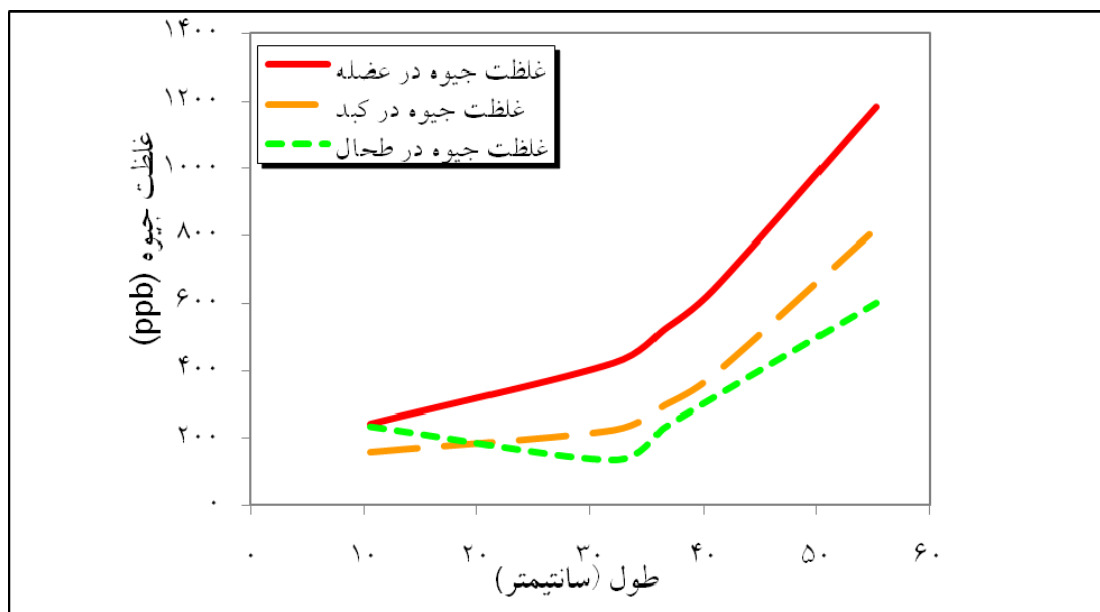
جدول ۴-۸ نتایج آنالیز رگرسیون ساده بین ویژگیهای اردک ماهیان و مقدار جیوه در بافتهای مختلف آنها*

ویژگی ظاهری (X)	متغیر وابسته (Y)	مدل	R ²	SE	F	p
سن	جیوه عضله	$\ln Y = 0.291 X + 5.150$	۰/۳۰۲	۰/۶۸۵	۳۲/۸۷۰**	۰/۰۰۰
	جیوه کبد	$\ln Y = 0.143 X^2 - 0.521 X + 5.461$	۰/۳۴۱	۰/۷۰۷	۱۹/۴۱۲**	۰/۰۰۰
	جیوه طحال	$\ln Y = 0.180 X^2 - 0.903 X + 6.123$	۰/۲۱۳	۰/۶۷۳	۱۰/۱۶۳**	۰/۰۰۰
طول	جیوه عضله	$Y = 0.0372 X^3 - 3.786 X^2 + 123.222 X$	۰/۵۰۴	۴۶۲/۶	۲۵/۰۳۱**	۰/۰۰۰
	جیوه کبد	$\ln Y = -0.00004 X^3 + 0.005 X^2 - 0.154 X + 6.155$	۰/۳۰۸	۰/۷۳۰	۱۰/۹۸۲**	۰/۰۰۰
	جیوه طحال	$\ln Y = -0.00004 X^3 + 0.005 X^2 - 0.169 X + 6.681$	۰/۱۵۱	۰/۷۰۳	۴/۳۹۶**	۰/۰۰۷
وزن	جیوه عضله	$\ln Y = 0.198 \ln X + 5.001$	۰/۲۷۳	۰/۶۹۹	۲۸/۶۰۰**	۰/۰۰۰
	جیوه کبد	$\ln Y = 0.027 \ln X + 4.737$	۰/۱۵۰	۰/۱۴۰	۰/۴۵۶**	۰/۰۰۰
	جیوه طحال	$Y = (0.004 X + 14.494)^2$	۰/۰۹۴	۶/۶۳۴	۷/۸۵۵**	۰/۰۰۶

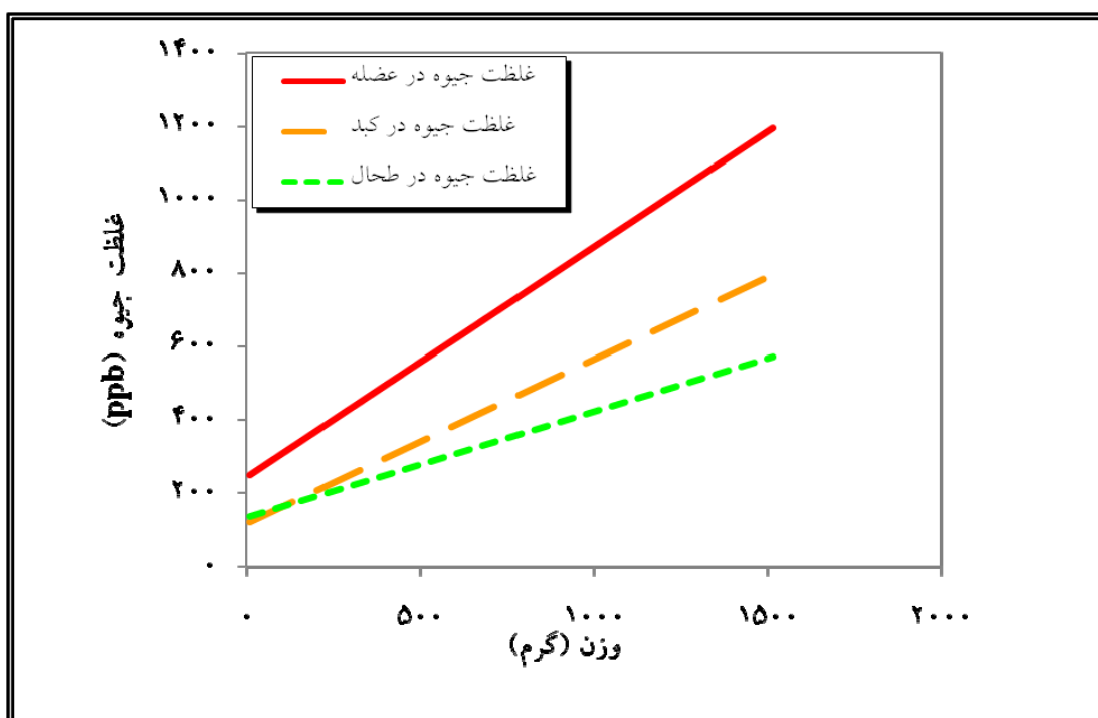
* علامت ** معرف وجود رابطه آماری معنی دار در سطح احتمال ۹۹ درصد است.



شکل ۴-۶ نمودار روند تغییرات غلظت جیوه در بافتهای اردک ماهی با توجه به تغییرات سنی



شکل ۷-۴ نمودار روند تغییرات غلظت جیوه در بافت‌های اردک ماهی در با توجه به تغییرات طولی



شکل ۸-۴ نمودار روند تغییرات غلظت جیوه در بافت‌های اردک ماهی با توجه به تغییرات وزنی

غلظت جیوه در عضله، کبد و طحال اردک ماهیهای مورد مطالعه به احتمال ۹۹ درصد در ارتباط مستقیم با یکدیگر هستند و با افزایش یکی دیگری نیز به ترتیب افزایش یا کاهش پیدا می‌کند. غلظت جیوه در عضله و کبد اردک ماهیها ارتباط مستقیم با سن، طول و وزن بدن آنها دارد ($p < 0.01$) اما

غلظت جیوه در طحال اردک ماهیها رابطه معنی داری با سن، طول و وزن بدن آنها ندارد ($p > 0.05$).

۴-۶ نتایج بررسی جیوه در زنجیره غذایی اردک ماهی

۴-۶-۱ نتایج حاصل از بررسی جیوه در عضله پستی طعمه‌ها

قسمت عمده غذای اردک ماهیان در سنین مختلف رشد از ماهیهای کاراس، تیز کولی، سیم نما، شاه کولی، مخرج لوله ای، گامبوزیا، سرخ باله و مروارید ماهی تشکیل می‌شود، البته سهم هریک از آنها در سنین مختلف و مراحل مختلف زندگی این موجود فرق می‌کند (جدول ۴-۲). مقادیر میانگین و اشتباه معیار غلظت جیوه در عضله پستی ماهیان موجود در زنجیره غذایی اردک ماهی در جدول ۴-۹ درج گردیده است.

با توجه به اینکه غلظت جیوه در بافتهای این ماهیها نقش مهمی در توجیه تغییرات غلظت جیوه اردک ماهی دارد و از آنجایی که نمونه‌برداری از بافت مشابه در سطوح مختلف غذایی یک زنجیره غذایی جهت بررسی تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه از انحرافات موجود در اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری جیوه تجمع‌یافته در بدن موجودات می‌کاهد (Gray, 2002). غلظت جیوه در عضله پستی این ماهیان مورد اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۴-۱۰ و ۴-۱۱ و شکل‌های ۴-۹ و ۴-۱۰). نتایج این تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که در سطح اعتماد ۹۹ درصد اختلاف معنی داری بین غلظت جیوه موجود در عضله پستی گونه‌های مختلف مورد تغذیه اردک ماهی وجود دارد (جدول ۴-۹). بطوریکه گونه‌های سیم نما و مروارید ماهی بیشترین، سرخ باله، شاه کولی، مخرج لوله ای، تیز کولی و اردک ماهی یکساله کمترین و کاراس و گامبوزیا مقدار حد واسطی جیوه داشته‌اند (شکل ۴-۹). نتایج مقایسه سنین مختلف گونه‌های قرار گرفته در زنجیره غذایی اردک ماهی از نظر مقدار جیوه در عضله پستی (جدول ۴-۱۱) نیز نشان داد که تفکیک طبقات مختلف سنی در تمامی گونه‌ها باعث افزایش مقدار جیوه در عضله پستی ماهی نشده است، بلکه این تفکیک فقط در گامبوزیا، مخرج لوله ای، مروارید ماهی و شاه کولی موثر بوده است. بطوریکه در این گونه‌ها همواره افزایش سن باعث افزایش غلظت جیوه در عضله پستی شده است (شکل ۴-۱۰).

جدول ۹-۴ مقادیر غلظت جیوه در بافت‌های مختلف ماهیان موجود در زنجیره غذایی اردک ماهی

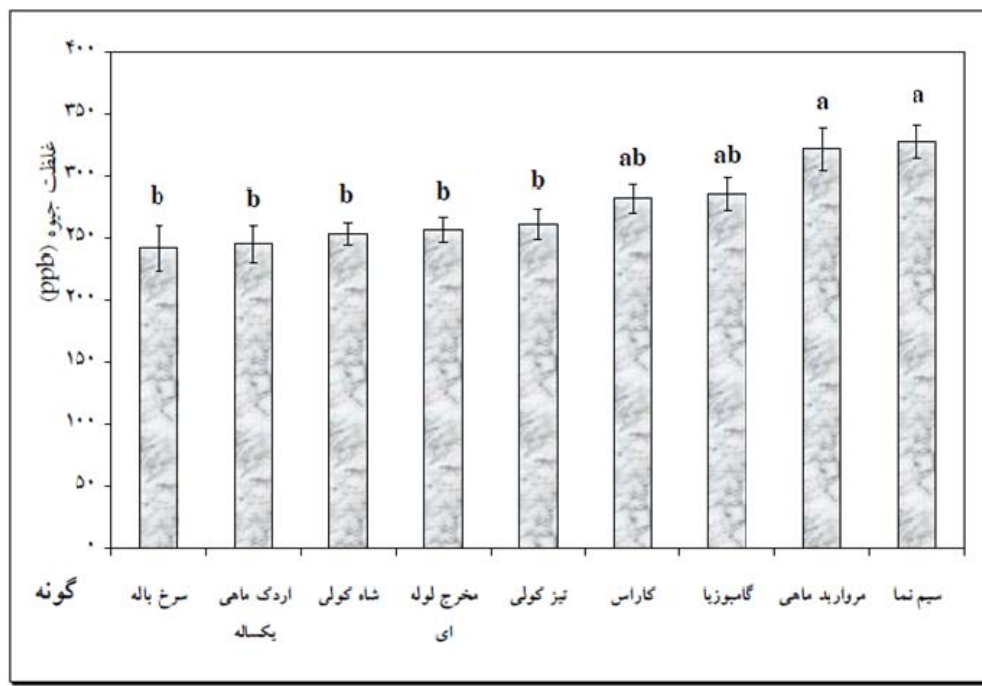
غلظت جیوه (ppb)		گونه
میانگین	اشتباه معیار	
۲۵۳/۹۱	۶/۰۸	شاه کولی
۲۵۶/۵۵	۱۴/۵۱	مخرج لوله ای
۲۸۵/۹۱	۲۴/۰۰	گامبوزیا
۲۸۲/۲۸	۶/۲۳	کاراس
۳۲۸/۳۴	۲۸/۸۶	سیم نما
۲۶۱/۶۱	۸/۹۵	تیز کولی
۳۲۲/۲۷	۱۸/۳۹	مروارید ماهی
۲۴۱/۱۸	۱۵/۷۱	سرخ باله
۲۷۶/۶۳	۵/۴۰	کل

جدول ۱۰-۴ نتایج تجزیه واریانس یکطرفه مقادیر جیوه در عضله پش‌تی گونه‌های قرار گرفته در زنجیره غذایی اردک ماهی*

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	p
گونه	۱۴۷۹۵۰/۰	۸	۱۸۴۹۳/۷	۴/۱۱۷**	۰/۰۰۰
خطا	۷۸۱۶۱۴/۹	۱۷۴	۴۴۹۲/۰		
کل	۹۲۹۵۶۴/۸	۱۸۲			

** علامت ** معرف وجود اختلاف معنی دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد می‌باشد.

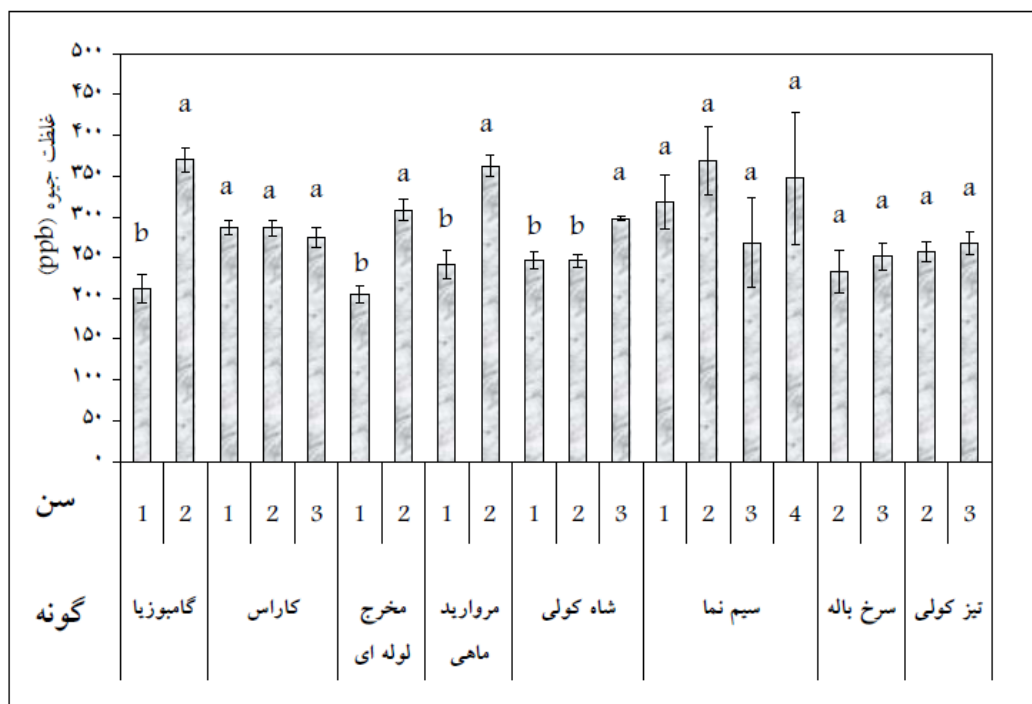
شکل ۹-۴ نمودار مقایسه مقدار میانگین جیوه در عضله پش‌تی گونه‌های قرار گرفته در زنجیره غذایی اردک ماهی



جدول ۴-۱۱: مقایسه آماری گونه‌های قرار گرفته در زنجیره غذایی اردک ماهی از نظر مقدار جیوه در عضله پشته*

گونه	شاخص آزمون	p
گامبوزیا	$t(13) = -6.704^{**}$	۰/۰۰۰
کاراس	$F(2, 21) = 0.370^{ns}$	۰/۶۹۵
مخرج لوله ای	$t(18) = -5.970^{**}$	۰/۰۰۰
مروارید ماهی	$t(13) = -5.299^{**}$	۰/۰۰۰
شاه کولی	$F(2, 25) = 6.040^{**}$	۰/۰۰۷
سیم نما	$F(3, 13) = 0.650^{ns}$	۰/۵۹۷
سرخ باله	$t(17) = 0.558^{ns}$	۰/۵۸۴
تیز کولی	$t(18) = 0.577^{ns}$	۰/۵۷۱

* علامتهای ** و ns به ترتیب معرف وجود اختلاف معنی دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح اعتماد ۹۵ درصد می‌باشند.



شکل ۴-۱۰ نمودار مقایسه سنین مختلف گونه‌های قرار گرفته در زنجیره غذایی اردک ماهی از نظر مقدار جیوه در عضله پشتری

۴-۶-۲ نتایج حاصل از بررسی تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه در زنجیره غذایی اردک ماهیان

جهت بررسی تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه از سطح یا سطوح غذایی پایین تر به انتهای زنجیره ابتدا کل مقدار ورود جیوه از طریق هر یک از طعمه‌ها به اردک ماهی به تفکیک سالهای دوم، سوم، چهارم و پنجم زندگی آن با توجه به داده‌های حاصل از بررسی رژیم غذایی اردک ماهیان (جدول ۴-۲) محاسبه گردید.

به این ترتیب میانگین کل ورود جیوه از طریق زنجیره غذایی به اردک ماهی محاسبه و میانگین کل جیوه ردیابی شده در هر سال از زندگی اردک ماهی به عنوان کل جیوه جذب شده در آن سال در نظر گرفته شده است. میزان کل جیوه ورودی به بدن اردک ماهیان از طریق زنجیره غذایی در سنین مختلف رشد به ترتیب در جداول ۴-۱۲، ۴-۱۳، ۴-۱۴ و ۴-۱۵ درج گردیده است.

جدول ۴-۱۲ مقادیر جیوه وارده و جذب شده در بدن اردک ماهیان دوساله از طریق حلقه‌های مختلف زنجیره غذایی

گونه	ضریب تبدیل غذایی اردک ماهی	سهم طعمه در جیره غذایی (%)	میانگین وزن اردک ماهی (Kg)	میانگین جیوه در طعمه (ppb)	جیوه وارد شده (ppb)	جیوه جذب شده (ppb)
شاه کولی	۱۰	۳	۰/۲۸۱	۲۵۳/۹۱	۲۱/۴۳۰	-----

مخرج لوله اي	۱۰	۵	۰/۲۸۱	۲۵۶/۵۵	۳۶/۰۹۷	-----
گامبوزيا	۱۰	۵	۰/۲۸۱	۲۸۵/۹۱	۴۰/۲۲۸	-----
کاراس	۱۰	۳۰	۰/۲۸۱	۲۸۲/۲۸	۲۳۸/۳۰۱	-----
سیم نما	۱۰	۱۰	۰/۲۸۱	۳۲۸/۳۴	۹۲/۳۹۵	-----
تیز کولی	۱۰	۱۰	۰/۲۸۱	۲۶۱/۶۱	۷۳/۶۱۷	-----
مروارید ماهي	۱۰	۵	۰/۲۸۱	۳۲۲/۲۷	۴۵/۳۴۳	-----
سرخ باله	۱۰	۵	۰/۲۸۱	۲۴۱/۱۸	۳۴/۰۰۷	-----
اردک ماهي یکساله	۱۰	۰	۰/۲۸۱	۲۱۶/۵۳	۰/۰۰۰	-----
مجموع	-----	-----	-----	-----	۵۸۱/۴۲۲	۲۷۱/۶۸

جدول ۴-۱۳ مقادیر جیوه وارده و جذب شده در بدن اردک ماهیان سه ساله از طریق حلقه‌های مختلف زنجیره غذایی

گونه	ضریب تبدیل غذایی اردک ماهی	سهم طعمه در جیره غذایی (%)	میانگین وزن اردک ماهي (Kg)	میانگین جیوه در طعمه (ppb)	جیوه وارد شده (ppb)	جیوه جذب شده (ppb)
شاه کولی	۱۵	۱۵	۰/۴۴۸	۲۵۳/۹۱	۲۵۶/۰۴۰	-----
مخرج لوله‌ای	۱۵	۱۰	۰/۴۴۸	۲۵۶/۵۵	۱۷۲/۴۶۷	-----
گامبوزیا	۱۵	۱۰	۰/۴۴۸	۲۸۵/۹۱	۱۹۲/۲۰۴	-----
کاراس	۱۵	۴۲	۰/۴۴۸	۲۸۲/۲۸	۷۹۷/۰۰۹	-----
سیم نما	۱۵	۱۰	۰/۴۴۸	۳۲۸/۳۴	۲۲۰/۷۰۸	-----
تیز کولی	۱۵	۱۰	۰/۴۴۸	۲۶۱/۶۱	۱۷۵/۸۶۹	-----
مروارید ماهي	۱۵	۰	۰/۴۴۸	۳۲۲/۲۷	۰/۰۰۰	-----
سرخ باله	۱۵	۳	۰/۴۴۸	۲۴۱/۱۸	۴۸/۷۴۵	-----
اردک ماهي یکساله	۱۵	۰	۰/۴۴۸	۲۱۶/۵۳	۰/۰۰۰	-----
مجموع	-----	-----	-----	-----	۱۸۶۳/۰۶۱	۲۹۰/۱۱۳

جدول ۴-۱۴ مقادیر جیوه وارده و جذب شده در بدن اردک ماهیان چهارساله از طریق حلقه‌های مختلف زنجیره غذایی

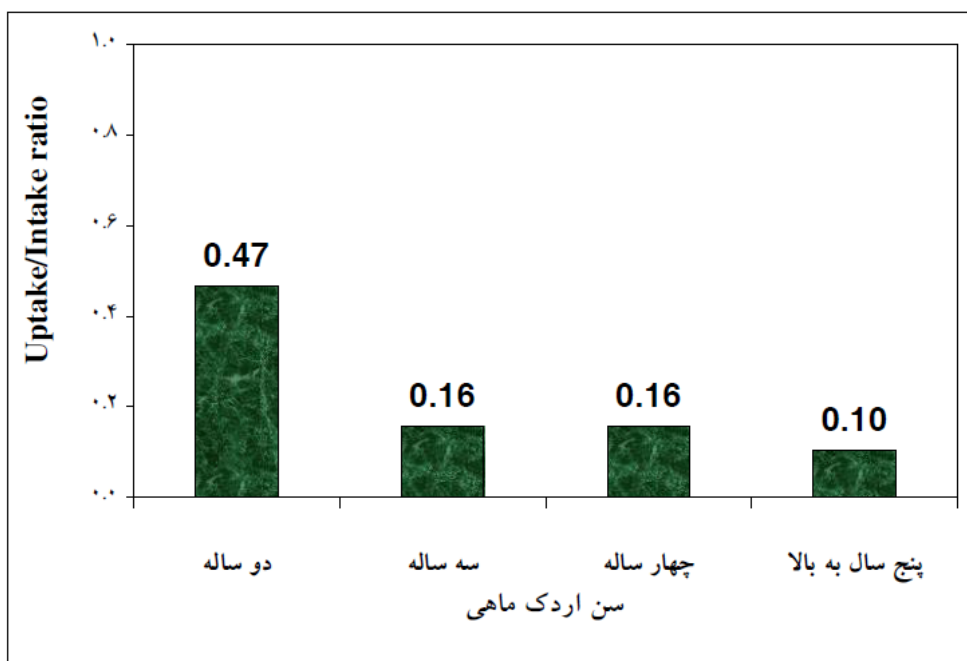
گونه	ضریب تبدیل غذایی اردک ماهی	سهم طعمه در جیره غذایی (%)	میانگین وزن اردک ماهي (Kg)	میانگین جیوه در طعمه (ppb)	جیوه وارد شده (ppb)	جیوه جذب شده (ppb)
شاه کولی	۱۸	۵	۰/۶۴۴	۲۵۳/۹۱	۱۴۷/۳۱۰	-----
مخرج لوله ای	۱۸	۵	۰/۶۴۴	۲۵۶/۵۵	۱۴۸/۸۴۴	-----
گامبوزیا	۱۸	۰	۰/۶۴۴	۲۸۵/۹۱	۰/۰۰۰	-----
کاراس	۱۸	۵۰	۰/۶۴۴	۲۸۲/۲۸	۱۶۳۷/۷۲۱	-----
سیم نما	۱۸	۵	۰/۶۴۴	۳۲۸/۳۴	۱۹۰/۴۹۵	-----
تیز کولی	۱۸	۲۵	۰/۶۴۴	۲۶۱/۶۱	۷۵۸/۸۹۹	-----
مروارید ماهي	۱۸	۰	۰/۶۴۴	۳۲۲/۲۷	۰/۰۰۰	-----
سرخ باله	۱۸	۵	۰/۶۴۴	۲۴۱/۱۸	۱۴۰/۲۲۹	-----
اردک ماهي یکساله	۱۸	۵	۰/۶۴۴	۲۱۶/۵۳	۱۲۵/۶۲۶	-----
مجموع	-----	-----	-----	-----	۳۱۴۹/۱۲۶	۴۹۴/۵۰۰

جدول ۴-۱۵ مقادیر جیوه وارده و جذب شده در بدن اردک ماهیان پنج ساله از طریق حلقه‌های مختلف زنجیره غذایی

گونه	ضریب تبدیل	سهم طعمه	میانگین وزن	میانگین جیوه	جیوه وارد	جیوه جذب
------	------------	----------	-------------	--------------	-----------	----------

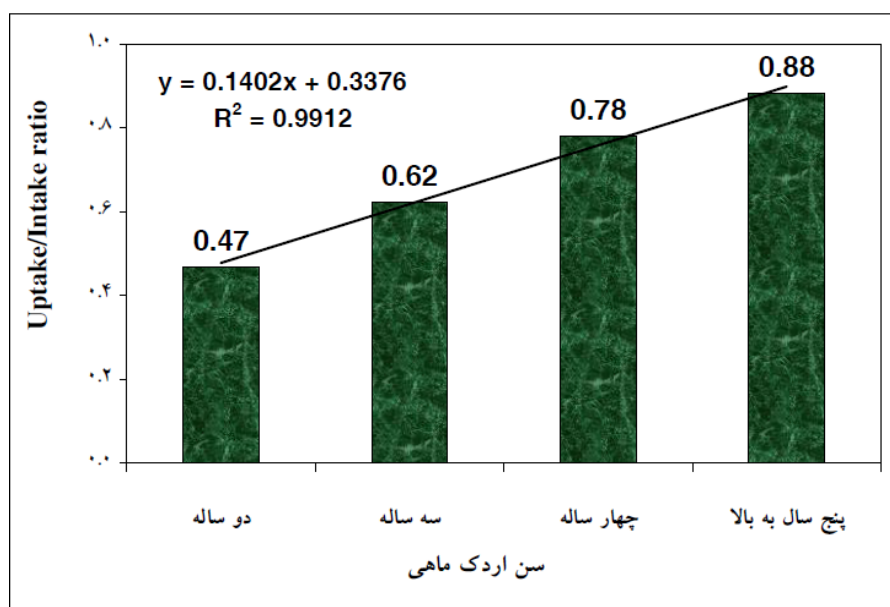
شده (ppb)	شده (ppb)	در طعمه (ppb)	اردک ماهی (Kg)	در جیره غذایی (%)	غذایی اردک ماهی	
-----	۰/۰۰۰	۲۵۳/۹۱	۱/۵۱۴	۰	۲۰	شاه کولی
-----	۰/۰۰۰	۲۵۶/۵۵	۱/۵۱۴	۰	۲۰	مخرج لوله ای
-----	۰/۰۰۰	۲۸۵/۹۱	۱/۵۱۴	۰	۲۰	گامبوزیا
-----	۵۹۸۶/۶۰۶	۲۸۲/۲۸	۱/۵۱۴	۷۰	۲۰	کاراس
-----	۴۹۷/۳۸۹	۳۲۸/۳۴	۱/۵۱۴	۵	۲۰	سیم نما
-----	۱۵۸۵/۲۱۰	۲۶۱/۶۱	۱/۵۱۴	۲۰	۲۰	تیز کولی
-----	۰/۰۰۰	۳۲۲/۲۷	۱/۵۱۴	۰	۲۰	مروارید ماهی
-----	۰/۰۰۰	۲۴۱/۱۸	۱/۵۱۴	۰	۲۰	سرخ باله
-----	۳۲۸/۰۱۳	۲۱۶/۵۳	۱/۵۱۴	۵	۲۰	اردک ماهی یکساله
۸۵۹/۳۸۷	۸۳۹۷/۲۱۷	-----	-----	-----	-----	مجموع

مقادیر نسبت میزان جیوه جذب شده به میزان جیوه وارد شده (Uptake / Intake) در عضله پشنتی اردک ماهیان در سنین مختلف در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است. آنالیز رگرسیون خطی ساده نشان می‌دهد که رابطه افزایشی قوی ($R^2 = 99/12\%$) بین سن و مقدار تجمعی نسبت Up/In وجود دارد. این رابطه حاکی از تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه در بدن اردک ماهیان با گذشت زمان می‌باشد. بررسی تغییرات زمانی بزرگنمایی زیستی جیوه در بدن اردک ماهیان مورد مطالعه نشان می‌دهد که در سالهای مختلف، در هر سال با گذشت زمان مقدار جیوه تجمع یافته افزایش می‌یابد و در هر سال با توجه به میزان جیوه جذب شده در سال قبل عرض از مبدأ این مدلها بالا می‌رود و شیب معادلات با گذشت زمان افزایش می‌یابد (روند صعودی قابل توجه) (شکل ۴-۱۲). بررسی مقدار تغییرات زمانی بزرگنمایی زیستی جیوه در اردک ماهیان در طول زمان به وسیله آنالیز رگرسیون خطی ساده نشان دهنده برتری مدل توانی (Power) در این مقادیر می‌باشد (شکل ۳-۱۳ و جدول ۴-۱۶) که این مدل همواره در سطح اعتماد ۹۹٪ معنی‌دار بوده و با R^2 بیش از ۹۳٪ از تغییرات جیوه، بهترین مدل آماری شناخته می‌شود که می‌توان از آن برای پیش‌بینی تغییرات زمانی جیوه در اردک‌ماهی استفاده نمود.



شکل ۴-۱۱ نمودار ستونی مقادیر نسبت Uptake به Intake در بافت عضله پشتی اردک ماهی.

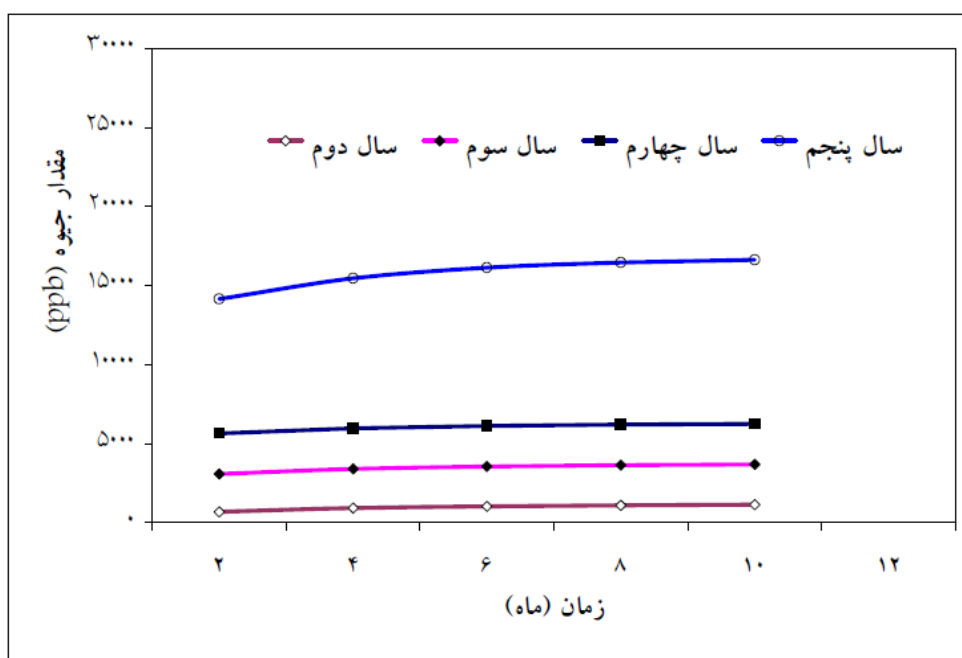
با توجه به شکل ۴-۱۱ همواره $BAF > 1$ بوده و حاکی از بزرگنمایی زیستی جیوه در زنجیره غذایی اردک ماهیان می باشد.



شکل ۴-۱۲ نمودار تجمعی نسبت Uptake به Intake در بدن اردک ماهی

آنالیز رگرسیون خطی ساده نشان می‌دهد که رابطه افزایشی قوی ($R^2 = 99/12\%$) بین سن و مقدار تجمعی نسبت UP/In وجود دارد. این رابطه حاکی از تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی جیوه در بدن اردک ماهیان با گذشت زمان می‌باشد. بررسی تغییرات زمانی بزرگنمایی زیستی جیوه در بدن اردک ماهیان مورد مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش سن هر سال با گذشت زمان مقدار جیوه تجمع یافته

افزایش می‌یابد و در هر سال با توجه به جیوه جذب شده در سال قبل، عرض از مبدأ این مدلها بالا می‌رود و شیب معادلات با گذشت زمان افزایش می‌یابد (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۳ مقادیر تغییرات زمانی بزرگنمایی زیستی جیوه در بافت اردک ماهی‌های مورد مطالعه

جدول ۴-۱۶ پارامترهای آماری مدل توانی تغییرات زمانی بزرگنمایی زیستی جیوه در بدن اردک ماهی‌های مورد مطالعه[†]

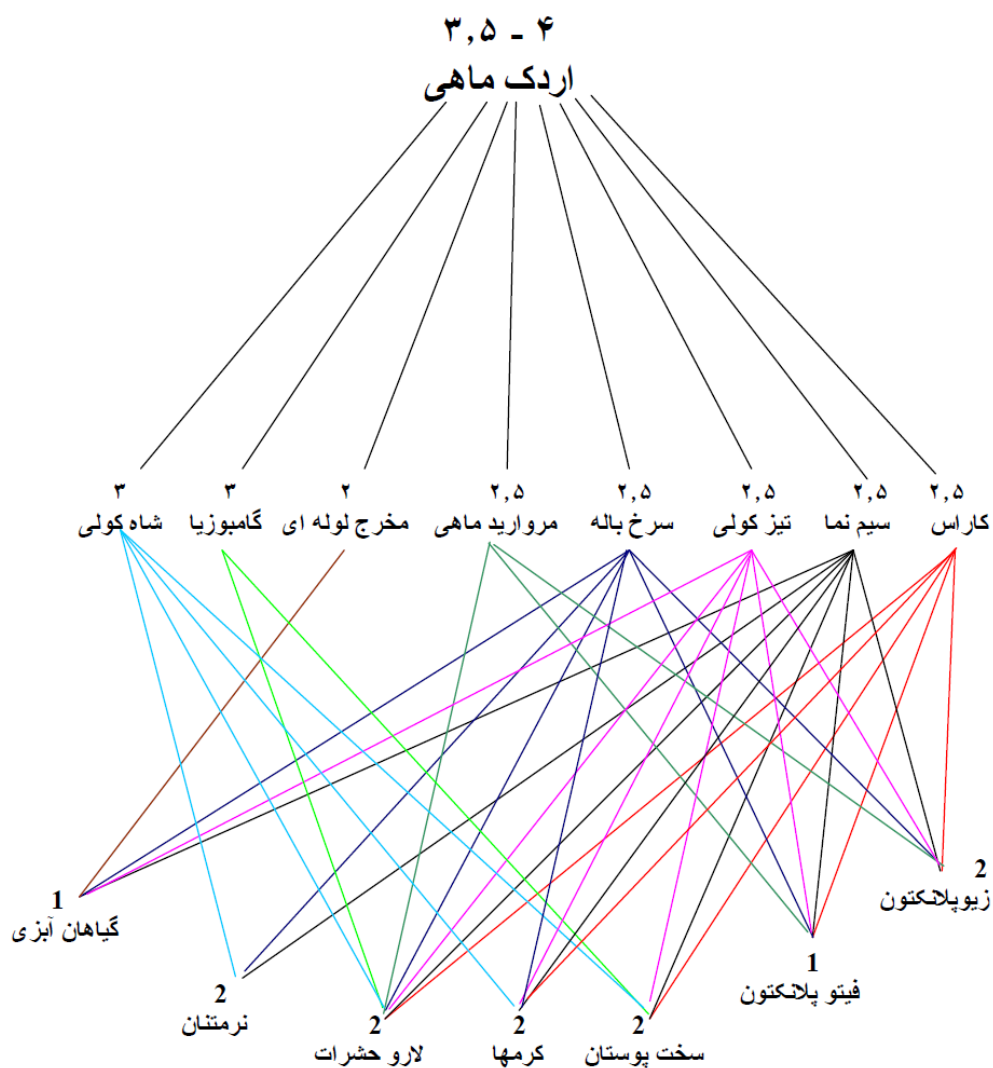
S	ضریب تبیین (R ²)	P	F	b	A	
۰/۲۴۶	۹۳/۸۱	۰/۰۰۶	۲۹/۳۳	۰/۹۰۱	۱۴۹/۹۹	سال دوم

سال سوم	۲۱۴۹/۳۴	۰/۲۳۴	۷۲/۶۷	۰/۰۰۱	۹۴/۷۸	۰/۰۴۱
سال چهارم	۴۶۵۷/۲۵	۰/۱۲۸	۸۹/۱۷	۰/۰۰۱	۹۵/۷۱	۰/۰۲۰
سال پنجم	۱۰۳۳۴/۶۲	۰/۲۰۶	۷۶/۵۱	۰/۰۰۱	۰/۹۵۰	۰/۰۳۵

† فرمول مدل توانی (Power) بصورت $Y=aX^b$ می‌باشد. X و Y در این مدلها به ترتیب بزرگنمایی زیستی جیوه در بدن اردک ماهی‌ها و زمان را نشان میدهد.

۳-۶-۴ تعیین سطوح غذایی اردک ماهیان در تالاب انزلی

با توجه به رژیم غذایی هر یک از طعمه‌ها در سطوح غذایی خود قرار داده شده و به اینترتیب سطوح غذایی اردک ماهیان تالاب انزلی ۳/۵ و ۴ تعیین گردید (شکل ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۴ : سطوح غذایی طعمه ها در زنجیره غذایی اردک ماهیان تالاب انزلی

فصل پنجم

بحث و تفسیر و نتیجه گیری و جمع بندی

۵-۱ تجمع زیستی جیوه در اردک ماهیان

محدوده ردیابی جیوه در این مطالعه از 5ppb تا 5000ppb ($5-0.005\mu\text{g g}^{-1}\text{ dw}$) براساس وزن خشک متغییر و محدوده صحت دستگاه از ۹۸.۵% تا ۱۰۳% متغییر و دقت ردیابی در حد ۰.۰۰۱ میلی گرم بر کیلو گرم وزن خشک با انحراف استاندارد ۰.۰۵% ($\text{RSD}(N=7) < 0.05$) بوده است. غلظت جیوه در اردک ماهیان تفاوت‌های معنی‌داری نشان داده است. بررسی روابط آماری موجود بین غلظت جیوه تجمع یافته در بافت‌های عضله، کبد و طحال اردک ماهیان با پارامترهای سن، طول، وزن، جنسیت و بالغ و نابالغ بوده نشان داده است که غلظت جیوه عضله و کبد اردک ماهیان ارتباط مستقیم با سن، طول و وزن آنها دارد ($P > 0.01$)، اما غلظت جیوه در طحال این ماهیان رابطه معنی‌داری با سه پارامتر ذکر شده نداشته است ($p > 0.05$). ضریب همبستگی اسپرمن نیز نشان داده است که غلظت جیوه موجود در عضله، کبد و طحال اردک ماهیهای مورد مطالعه با سطح اعتماد ۹۹ درصد در ارتباط مستقیم با یکدیگر بوده و با افزایش یکی دیگری نیز افزایش یا کاهش می‌یابد. افزایش غلظت جیوه در عضله با افزایش پارامترهای سن، طول و وزن در تحقیقات مشابه دیگر نیز اشاره شده است (Adimado & Baah, 2002; Black more & Wang, 2004; Romeo *et al*, 1999; McKay & Fraser 2000; Canli & Atli 2003).

در کبد اردک ماهیان نیز اگرچه مانند عضله کمترین مقدار مربوط به یکساله‌ها بوده است اما تا سال پنجم به‌رغم وجود یک روند صعودی، افزایش معنی‌داری در مقدار جیوه تجمع یافته در کبد بوجود نیامده است. با توجه به تحقیقات به‌عمل آمده، تفاوت بین مقدار جیوه تجمع یافته در عضله و کبد به‌گونه‌ایست که همواره انتظار می‌رود مقدار جیوه در عضله بیشتر از کبد باشد زیرا جیوه بصورت متیل جیوه از طریق غذا وارد بدن ماهی می‌شود و با باندهای سولفیدی به آمینواسیدهای بافت عضله متصل و در آنجا تجمع می‌یابد (St-Louis *et al*, 1996; Chen *et al*, 2005; Blakmore & Wang, 2004). از دیگر سو با افزایش توده وزنی ماهی نرخ کاهش مقدار جیوه از بافت ماهی نسبت به ظرفیت نگهداری آن در بافت عضله کاهش می‌یابد به عبارت دیگر با افزایش بافت، ظرفیت تجمع جیوه افزایش خواهد یافت. همچنین برای ترکیبات چربی دوست مثل جیوه با افزایش اندازه ماهی سرعت دفع آن از بدن کاهش می‌یابد. این روابط در خصوص سن ماهی نیز صادق است (Yamaguchi *et al*, 2004; Gray, 2002)، در نتیجه انتظار می‌رود همواره با افزایش سن، طول و وزن بر مقدار جیوه عضله افزوده گردد که در مورد اردک ماهیان مورد مطالعه نیز چنین بوده است، در حالیکه برای کبد مکانیزم‌های متفاوتی وجود دارد. مطالعات بعمل آمده حاکی از وجود روابط متناقض در توزیع تجمع جیوه در اندام‌های مختلف می‌باشد به‌گونه‌ای که در غلظت‌های کم جیوه در محیط، تجمع زیستی جیوه به اندازه‌ای نخواهد بود که ترجیحاً در کبد تجمع یابد (Goldstein *et al*, 1996; Sager 2004)، از سوی دیگر نشان داده شده است که متیل جیوه موجب تحریک افزایش ترشح هورمون‌های گنادی از کبد می‌گردد که این واکنش نوعی پاسخ دفاعی در برابر سمیت جیوه است که منجر به کاهش تجمع آن در کبد می‌گردد (Yamaguchi *et al*, 2004; Boudouin *et al*, 1999).

تغییرات جیوه در طحال اردک ماهی کمی پیچیده‌تر از تغییرات آن در کبد بوده است بطوری‌که هیچ‌گونه ارتباط معنی‌داری با پارامترهای بیومتریکی نداشته است. در خصوص جنسیت و بلوغ جنسی نتایج حاصله حاکی از آن است که بلوغ جنسی و جنسیت فقط بر متوسط غلظت جیوه در عضله و کبد اثر داشته است ($P > 0.05$) بطوری‌که همواره با اعتماد ۹۵ درصد غلظت آن در عضله و کبد ماهیان بالغ بیشتر از نابالغ بوده که از رابطه مقدار جیوه در این اندام‌ها با پارامترهای بیومتریکی ماهی پیروی می‌کند.

در عضله و کبد ماده‌ها نیز تجمع جیوه بیشتر از نرها بوده است. تفاوت غلظت جیوه در جنس نر و ماده نشان‌دهنده تفاوت در فعالیتهای متابولیکی دو جنس می‌باشد (Garcia & Carignan, 2000).

Canli & Atli, 2003) این در حالیکه تحلیل آماری مقایسه طول و وزن جنسهای نر و ماده برغم پایین‌تر بودن مقدار برآورد نقطه‌ای میانگین طول و وزن ماهیهای نر، تفاوت معنی‌داری بین جنسهای نر و ماده نشان نداده است ($p>0/05$). مقدار جیوه موجود در طحال اردک ماهیان بالغ و نابالغ و نر و ماده نیز نسبت به هم با اعتماد ۹۵ درصد تفاوت معنی‌دار نداشته است.

۵-۲ تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه در زنجیره غذایی اردک ماهیان

در سیستم های آبی بسته و نیمه‌باز، روابط شکار و شکارچی بسیار پیچیده است و شکارچیان اغلب از چند طعمه کوچکتر از خود تغذیه می‌نمایند. ارزیابی میزان جیوه انتقال یافته از طریق زنجیره غذایی به بالای هرم غذایی تنها زمانی باید صورت گیرد که مقدار جیوه انتقال یافته در سطح یا سطوح غذایی پایین‌تر آنالیز و سهم هریک از طعمه‌ها در تغذیه ماهی واقع در بالای زنجیره غذایی تعیین گردد (Gray, 2002; Xue *et al.*, 2002; McKay & Fraser, 2000). لذا برای اساس زنجیره غذایی اردک ماهیان منطقه مورد مطالعه با آنالیز آزمایشگاهی محتوای معده ۳۱۸ قطعه اردک ماهی با تفکیک گونه‌ای و تعیین نسبی درصد وزنی طعمه‌ها در محتوای معده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آنست که در تمام مراحل رشد اردک ماهی، گونه‌های کاراس، تیزکولی و سیم نما در مجموع غذای غالب آنرا در تالاب انزلی تشکیل می‌دهند. همجنس خواری پس از سال سوم زندگی در الگوی تغذیه ای آن دیده می‌شود. گونه کاراس بیشترین سهم را داشته و با افزایش سن اردک ماهی سهم آن در لیست غذایی اردک ماهی افزایش می‌یابد. گونه‌های تیزکولی و سیم نما بطور نسبی سهم برابری در تغذیه اردک ماهی طی سالهای دوم و سوم زندگی دارند اما پس از آن سهم تیزکولی افزایش و سهم سیم نما کاهش می‌یابد. گونه‌های شاه کولی، مخرج لوله ای و گامبوزیا همراه با کاراس، تیزکولی و سیم نما عمده غذای اردک ماهی در سالهای دوم و سوم زندگی را تشکیل می‌دهند. بنظر می‌رسد اردک ماهیان در سالهای دوم، سوم و چهارم زندگی از تنوع غذایی بیشتری برخوردار باشند و عمدتاً از همه چیز خوران تغذیه می‌نمایند. از آنجاییکه نمونه‌برداری از بافت مشابه در سطوح مختلف تروفی یک زنجیره غذایی جهت بررسی تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه از انحرافات موجود در اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری جیوه تجمع‌یافته در بدن موجودات می‌کاهد (Gray *et al.*, 2002).

غلظت جیوه در عضله پشتری این ماهیان اندازه‌گیری و نتایج حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار با سطح اعتماد ۹۹ درصد بین غلظت جیوه در عضله پشتری گونه‌های مختلف مورد تغذیه اردک ماهیان بوده است. تفاوت‌های موجود بین میانگین مقادیر جیوه تجمع یافته در گونه‌های واقع در زنجیره غذایی اردک ماهیان که اغلب در یک سطح تروفی قرار دارند دلایل متعددی دارد، مطالعات نشان داده است که اغلب گونه‌ها در شبکه غذایی آنها همه‌چیز خوارند و در یک سطح غذایی اغلب تفاوت‌های آشکاری در میزان تجمع آلاینده در آنها دیده می‌شود که دلیل آن را می‌توان در متغیرهای بیولوژیکی نظیر سن، طول، وزن، زیستگاه تغذیه‌ای، نوع غذا، مقدار چربی بافت، فاکتورهای فیزیوشیمیایی محیط، گونه ماهی، فیزیولوژی گوارش آن، نرخ تجمع زیستی آلاینده، نرخ دفع آلاینده از بدن و بالاخره در هموستازی گونه‌های ماهی جستجو نمود (Renzoni *et al.*, 1998; Reinfelder *et al.*, 1998; Du freez & Steyn 1999; Wang *et al.*, 1999; Xue *et al.*, 2002; Yamaguchi *et al.*, 2004; Sager, 2004; Zyadah, 1999; Al-Saleh & Al-Doush, 2001; McKay & Uptake / Intake). مقادیر نسبت (Fraser, 2000; Gray, 2002; Adimado & Baah, 2002) جیوه در عضله پشتری اردک ماهیان در سنین مختلف (شکل ۳-۱۱) و آنالیز رگرسیون خطی ساده آن نشان می‌دهد که رابطه افزایشی قوی ($R^2=99/12\%$) بین سن و مقدار تجمعی نسبت UP/In وجود دارد (شکل ۳-۱۲) این رابطه حاکی از تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی جیوه در بدن اردک ماهیان با گذشت زمان می‌باشد.

۳-۵ فاکتور بزرگنمایی زیستی در زنجیره غذایی اردک ماهیان

بررسی تغییرات زمانی بزرگنمایی زیستی جیوه در بدن اردک ماهیان مورد مطالعه نشان می‌دهد که در سالهای مختلف در هر سال با گذشت زمان، مقدار جیوه تجمع یافته افزایش می‌یابد و در هر سال با توجه به میزان جیوه جذب شده در سال قبل، عرض از مبدأ این مدلها بالا می‌رود و شیب معادلات با گذشت زمان افزایش می‌یابد (روند صعودی قابل توجه) (شکل ۳-۱۲). فاکتور تجمع زیستی جیوه در اردک ماهیان در سالهای دوم، سوم، چهارم و پنجم همواره $1 >$ بوده است. مقدار $BAF > 1$ نشان دهنده بزرگنمایی زیستی آلاینده‌ها در زنجیره غذایی آنها می‌باشد (Gray, 2003; Gonzalez *et al.*, 2002). در تحقیقات پیشین نیز نتایج مشابهی گزارش شده است (Xue *et al.*, 2002; Yamaguchi, 2004; Sager, 2004; Zyadah, 1999; Al-Saleh & Al-Doush, 2001; McKay *et al.*, 2004; Gray, 2002; Adimado & Baah, 2002; & Fraser, 2000).

Reinfelder و همکارانش در سال ۱۹۹۸ مدل ساده‌ای برای پیش بینی بزرگنمایی زیستی جیوه با استفاده از دو فاکتور نرخ کاهش و جذب را بسط داده و نشان دادند که متیل جیوه قابلیت بزرگنمایی زیستی دارد زیرا از نرخ کاهش پایین و جذب بالایی برخوردار است. در تحقیقات مشابه به منظور ارزیابی سهم وضعیت غذایی در تجمع زیستی جیوه عموماً چندین گونه ماهی یا چند جامعه از ماهیان و یا بطور کلی شبکه غذایی را مورد بررسی قرار داده‌اند (Kidd *et al.*, 1998; Vander & Syvaranta, 2005; Rasmussen, 1996). در بسیاری از مطالعات از اردک ماهیان فقط بعنوان یک گونه هدف استفاده شده است (Swanson *et al.*, 2003; Garcia & Carignan, 2000).

۴-۵ سطوح غذایی اردک ماهیان تالاب انزلی

باتوجه به سطوح غذایی ماهیان موجود در سبذ غذایی اردک ماهی تالاب انزلی (۲، ۲.۵ و ۳) سطح غذایی اردک ماهیان ۳/۵ تا ۴ تعیین گردید (شکل ۱-۶). تحقیقات مشابه سطوح ۳ تا ۵ را گزارش نموده‌اند (Kidd *et al.*, 1998; Syvaranta *et al.*, 2005). محدوده تغییرات سطح غذایی اردک ماهیان با همجنس خواری آنها در سنین بالاتر همخوانی دارد، نتایج مشابهی توسط دیگر محققان (Kidd *et al.*, 1998 و Syvaranta *et al.*, 2005) نیز گزارش شده است.

۵-۵ نتیجه نهایی

در مجموع غلظت جیوه عضله و کبد اردک ماهیها ارتباط مستقیم با سن، طول و وزن بدن آنها دارد ($p < 0.01$). غلظت جیوه عضله همواره بیش از سایر اندامها بوده است. همواره $BAF > 1$ بوده و حاکی از بزرگنمایی زیستی جیوه در زنجیره غذایی اردک ماهیان می‌باشد. رابطه افزایشی قوی ($R^2 = 99/12\%$) بین سن و مقدار تجمعی نسبت UP/In وجود دارد. این رابطه حاکی از تجمع و بزرگنمایی زیستی جیوه در بافت اردک ماهیان با گذشت زمان می‌باشد. بررسی مقدار تغییرات زمانی بزرگنمایی زیستی جیوه در اردک ماهیان در طول زمان به وسیله آنالیز رگرسیون خطی ساده نشان دهنده برتری مدل توانی (Power) در این مقادیر بوده است که می‌توان از آن برای پیش‌بینی تغییرات زمانی جیوه در اردک ماهی استفاده نمود. سطوح غذایی اردک ماهیان در تالاب انزلی ۳/۵ تا ۴ تعیین گردید.

منابع و مأخذ:

فاطمی، محمد رضا (۱۳۸۲). وضعیت محیط زیست خلیج فارس، محدوده دریایی راپمی، انتشارات سازمان محیط زیست، ۲۶۴ ص، ص: ۱۴۹-۱۷۲
مهندسین مشاور یکم (۱۳۶۷)، مطالعات گام اول طرح جامع احیاء تالاب انزلی، جلد اول، ۳۲۷ ص
وثوقی، غلامحسین و مستجیر، بهزاد (۱۳۷۲)، ماهیان آب شیرین. انتشارات دانشگاه

- Adimado , A.A.& D.A.Baah (2002). Mercury in human blood, hair , nail and fish from the Ankobra and Tano river basins in south western Ghana , *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (2002) 68:339- 346
- Altidag ,A.& S. Yigit (2005). Assessment of heavy metal concentration in food web of lake Beysehir, Turkey. *J. Chemosphere xxx(2005) xxx-xxx, 5p.*
- Ariag, J.F.(1996). Pike biology and exploitation, *chapman and hall. First edition. 1996 p. 408, pp.13477.*
- Al- Majed N., Preston M. (2000). An assessment of the total and methylmercury content of zooplankton and fish tissue collected from Kuwait territorial Waters. *Marine Pollution Bulletin*, 40,298-307.
- Al-Saleh, I., Al-Doush, I., (2001). Mercury Content in Shrimp and Fish Species the Gulf Coast of Saudi Arabia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 68, 576-583.
- A.D.A(2004). American Dental Association (ADA) statement on dental amalgam <http://www.ada.org/prof/resources/positions/amalgam.asp>
- Boudouin C.P., Tonn W.M., Prepas E.E. & Wassenaar L.I. (1999). Individual specialization and trophic adaptability of northern pike (*Esox lucius*): an isotope and dietary analysis. *Oecologia* 120: 386-396
- Berg (1949). Freshwater fishes of Iran and adjacent countries. *Trudy zoologicheskogo instituta akademii nauk SSSR*, 8:783- 858.
- Brown , R.H.(2003). Mercury's fall from medicine to toxin. Georgia public policy foundation. Retrieved April 03, 2005.
- Blackmore G.& W. Wang (2004). The transfer of cadmium, mercury , methylmercury and zinc in an intertidal rocky shore food chain. *J. experimental marine biology and ecology* .307(2004) 91-110.
- Campbell, L.M., Osano, O., Hecky, R.E. Dixon, D.G., (2003). Mercury in fish from three rift valley lakes (Turkana, Naivasha and Baringo), Kenya, East Africa. *Environmental Pollution*. 125, 281-286.
- Chen .C.Y. Stemberger R.S., Kaman ,N.C., Mayes B.M.& Carol L.Folt (2005). Patterns of Hg biomagnification and transfer in aquatic food web across

- multi- lake studies in the northeast *U.S.J.ECO toxicology*,14:135-147.
- Clarkson T.W.(2003). Mercury poisoning. *DEV. Toxicol. Environ . Sci. 11*:189-200.
- Calvert, J.B.(2004) . Mercury: the role of mercury,especially its uses in science and engineering <http://www.du.edu/~jcalvert/phys/mercury.htm#pois>
- Canli M.& G.Atli(2003). The relationship between heavy metal (cd,cr,cu,fe,pb,zn) level and the size of six mediteranean fish spesles. *J. Environmental Pollution*.121(2003)129-136.
- Dorea, J.C., Barbosa, A.C., Sauzade, J., Fadini, P., Jardim, F.(2003). Piranhas (*Serrsalumus spp.*) as merkers of mercury bioaccumulation in Amazonian ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 59, 57-63.
- Du Freez, M. & A. Steyn (1999). Modeling food Chain structure and contaminant bioaccumulation using stable nitrogen isotopes. *J. Nature* (372) 255-257.
- FDA (2004). Food & Drug Administration, mercury levels in commercial fish and shellfish <http://www.cfsan.fda.gov/~frf/sea-mehg.html>.
- Gonzalez. F., Schalscha , E., Becerra. J. and M. Silva (2003). Mercury in marine trophic chain , *Bull. Environ. Contam . Toxicol.* 68: 448- 454.
- Garcia E. & Carignan R. (2000). Mercury concentrations in northern pike (*Esox lucius*) from boreal lakes with logged, burned, or undisturbed catchments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57 (Suppl. 2): 129-135.
- Gilmour C.C. & Henry E.A. (1991). Mercury methylation in aquatic ecosystem affected by acid deposition. *Envirun. Pollut.* 71: 131-170.
- Gilmour C.C., Riedel G.S., Ederington M.C., Bell J.T., Benoit J.M., Gill G.A.. & Stordal .C. (1998). Methylmercury concentrations and production rates across a trophic gradient in the northern Everglades. *Biogeochem.* 40: 327-345.
- Gray (2002). Biomagnification in marine systems:the perspective of an ecologist. *J. Marine Pollution Bulletin* 45: 46-52.
- Gomes , K.A. & Gomes ,A.A.(1984). Statistical procedure for agricultural research. *John wiley & sons, new york*.680p.

Grey J., Thackeray S.J., Jones R.I. & Shine A. (2002). Ferox trout (*Salmo trutta*) as 'Russian dolls': complementary gut content and stable isotope analyses of the Loch Ness food web. *Freshwater Biology* 47: 1235-1243.

Goldstein R. M. Brigham M. E. Stauffer J. C. (1996). Comparison of mercury concentration in liver, muscle, whole bodies and composites of fish from the red river of the North. *Canadian J. Fish Aquat. Sci.* (53) 244-252.

Haggett, D.B., Steevens, J.A., Allgood, J.C., Lutken, C.B., Grace, C.A., Benson, W.H. (2000). Mercury in sediment & fish from North Mississippi Lakes. *Chem.* 42, 923-92 .

<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Hg/html>

<http://www.fda.gov/cber/vaccine/thimerosal.htm>

<http://sis.nlm.nih.gov/enviro/glossary.htm>

<http://toxics.usgs.gov/publish/fs-051-0>

<http://www.epa.gov/mercury/htm>

<http://www.ornl.gov/info/ornlreview/rev29-12/text/environ.htm#trees>

<http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Chapter4.htm>.

<http://vm.cfsan.fda.gov/~dms/mercury.htm>

Ikingura, J.R., Akagi, H., (2002). Total mercury and methylmercury levels in fish from hydroelectric reservoirs in Tanzania. *The Science of the Total Environment*. 304, 355-368.

Jewett, S.C., Zhang, X., Sathy Naidu, A., Kelley, J.J., Dasher, D., Duffy, K., (2002). Comparison of mercury and methyl mercury in northern pike and Arctic grayling from western Alaska rivers. *Chem.* 50, 383-392.

Kidd K.A., Schindler D.W., Hesslein R.H., & Muir D.C.G. & Hechey R.E. (1998). Effects of northern pike (*Esoc lucius*) additions on pollutant accumulation food web structure, determined by δ^{13} and δ^{15} in a eutrophic and oligotrophic lake. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 2193-2202.

Kraemer, H.J. Neidhart, B. Vogt, J.R. Meyer, W. (2004). Accumulation of

mercury in fish. *2 international conference on nuclear in environmental research* . 29 jul. 2004. U.S.A.

Lange, T.R., Royals, M.H.m Conner, L.L. (1993). In fluence of water chemistry on mercury concentration in largemouth bass from Florida lakes. *Transactions of the America Fisheries Society* 122, 74-84.

Madany I., Wahab A., Al- Alawi Z. (1996). Trace metals Conventrations in marine organisms from the coatal areas of Bahrain, Arabian Gulf. *Water Air and Soil Pollution*, 91, 233-248.

Mahaffey, K.R.,R.P.C Lickner , C.C. Bodurow, (2004). Blood organic mercury and dietary mercury intake: national health and nutrition examination survey. *J. Environ. Health. Prespect.* 112: 562- 57.

McKay , D. , Fraser, A. (2000). Bioaccumnlation of persistent organicchemicals: mechanisms and models. *J. Env. Poll.* 110:375-391.

Mirlean, N., larned, S.T., Nikora, V., Tarvares kutter, V., (2005). Mercury in lakes fishes on a conservation-industry gradient in Brazil. *Chem.*60, 226-236.

Morel F.M.M, kraepiel A.M.L. & Amyot M. (1998). The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29: 543-566.

Nikunen E., Leinonen R., Kemilainen B. & Kultamaa A. (2000). Environmental properties of chemicals. *Edita Ltd. Helsinki*, 1165 p.

Pacyna E.G. & Pacyna J.M. (2001). An assessment of global and regional emissions of trace metal to the atmosphere from anthtropogenic sources world wide. *Environ. Rev.* 9:269-298.

Pacyna E.G., Pacyna J.M. & Pirrone N. (2001). European emissions of atmospheric mercury from anthropogenic sources. *Atmos. Environ.* 35: 2987-2996.

Pelosi, M. K. and Sandefer, T. M. (2003). Elementary statistics: from discovery to decision, *John Willey & Sons, INC.* 793 p.

Porvari P. (2003). Sources and fate of mercury in aquatic ecosystems. *Monographs of the Boreal Environment Research* 23. Finnish Environment Institute, Helsinki 52 p.

- Porvari P. & Verta M. (2003). Total and methyl mercury concentrations and fluxes from small boreal forest catchments in Finland. *Environ. Pollut.* 123: 181-191.
- Renzoni A., Zino F. & Franchi E. (1998). Mercury level along the food chain and risk for exposed populations. *J. Environmental Research. Section A*, 77: 68-72.
- Reinfelder, J. R., Fisher, N. S., Luoma, S. N., Nichols, J. W., Wang, W. X. (1998). Trace element trophic transfer in aquatic organisms: a critique of the kinetic model approach. *J. Sci. Total Environ.* (219) 117-135.
- Romeo M., Siao, Y., Sidoumou Z. and M. Genassia-Garelli (1999). Heavy metal distribution in different fish species from the Mauritania coast. *J. the Science of The Total Environment* 232(1999) 169-175.
- Sager, D.R., (2004). Long-term variation in mercury concentration in estuarine organisms with changes in releases into Lavaca Bay, Texas. *mar. pollut. bull.* 44, 807-815.
- Sweet, L.I., Zelikoff, J.T. (2002). Toxicology and immunotoxicology of mercury: a comparative review in fish and humans. *J. Toxicol. Environ. Health* 4, 161-205.
- Syvaranta, J. (2005). Testing the link between mercury accumulation and increasing trophic position in lake pike (*Esox lucius* L.) Canadian J. fish Aquat. Sci. (47): 132-141.
- Schobers, S.E., T.H. Sinks, R.S. Jones et al. (2003). Blood mercury level in U.S. children and women of childbearing age, *JAMA*. 289: 1667-1674.
- St. Louis, V., J.W. Rudd, C.A. Kelly, K.G. Beaty, R.J. Flatt and U.T. Roulet (1996). Production and loss of methylmercury and loss of total mercury from boreal forest catchments containing different types of wetlands. *J. Environ. Sci. Technol.* 30(9): 2719-2729.
- Swanson H.K., Johnston T. A., Leggett W.C., Bodaly R. A., Doucett R. R. & Xunjak R. A. (2003). Trophic Positions and Mercury Bioaccumulation in Rainbow Smelt (*Osmerus mordax*) and Native Forage Fishes in Northwestern Ontario Lakes. *Ecosystems* 6: 289-299.
- Timbrell J. (2000). Principles of Biochemical Toxicology. 3rd ed. Taylor & Francis Ltd., London, 394 p.

- U.S.EPA (2006). Water quality criteria for protection of human health: methylmercury final U.S. *Environment protection Agency*. EPA/823/R-01/00.
- U.S.FDA(2004). U.S. Food and Drug Administration : drugs for human use: new drugs in food
<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=310.545&SearchTerm=mercury>
- U.S. EPA (Environmental Protection Agency). (2001). Fact Sheet : Update : National Listing of Fish and Wildlife Advisories. EPA – 823 – F- 01-010. *office of water, Washington, DC*.
- Vander Zanden M.J. & Rasmussen J.B. (1996). Trophic position model of pelagic food webs: -_impact on contaminant bioaccumulation in lake trout. *Ecological Monographs* 66: 451-477.
- Wren, C.D., Scheider, W.A., Wales, D.L., Muncaster, B.W., Gray, I.M., (1996) . Relation between mercury concentrations in Walleye and Northern Pike in Ontario lakes and influence of environmental factors. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48,132-139.
- Weech, S.A., Scheuhammer, A.M., Elliott, J.E., Cheng, K.M., (2004). Mercury in fish from the Pinchi. Lake Region, British Columbia, Canada. *Environmental Pollution*. 131, 275-286.
- Weis, I., (2004). Mercury Concentrations in fish from canadian Great Lakes areas of concern: an environmental database. *Environmental Research*. 95, 341-350.
- Wiener, J.G., Spry, D.J., (1996). Toxicological significance of mercury in freshwater fish. in: Beyer WN, Heinz GH, Rasmussen-Norwood AW (eds.). *Environmental Contamination in wildlife: Interpreting Tissue Concentration. SETAC Special*.
- Wang Wx, Qiu J.W, Qian P.Y. (1999). Significance of Trophic transfer in predicting the high concentration of zinc in barnacles, *J. Environ. Sci. Technol*, 33:2905-9.
- Xue-jun Liu , L- Hsun Ni, Wen-Xiong Wang (2002). Trophic transfer of heavy metals from fresh water zooplankton daphnia magna to zebra fish danio. *J. Water Research* 36 (2002) 4563-4569.

- Yamaguchi M., Yasutak ,A., Nagano M.and Y.Yasuda (2004). Accumulation and distribution of methylmercury in fresh water-and sea water- adapted Eels.*Bull .Environ. Contam.Toxicol. (2004) 73:257-263.*
- Zauke , G.P., Savinor , v.m., Ritterhoff , J. and T. Savinova (2001). Heavy metal in fish from the Barents sea, *The Science of the Total environment.* 277 , 161-173.
- Zar, J. H. (1999). Biostatistical analysis. *Prentice Hall International, Inc.* 660 p.
- Zyadah, M. (1999). Accumulation of same heavy metals is Tilapia Zilli organs from Lake Manzalah, *Egypt, Tr. J. of Zology* 23 (1999) 365-372.

Mercury bioaccumulation in pike (*Esox lucius*) food chain from Anzali lagoon, Iran.

Abstract:

A number of wide-ranging monitoring studies have been performed in order to estimate the degree of mercury (Hg) contamination in freshwater ecosystems (Gamberg *et al.*, 2005, Ikingura *et al.*, 2006, Jewett and Duffy, 2007). Knowledge regarding contamination of different levels of the food chain is necessary for estimation of total pollutant input fluxes and subsequent partitioning among different phases in the aquatic system (Tsui and Wang, 2004, Ikingura *et al.*, 2006, Evers *et al.*, 2007). The growing international concern about this environmental data is closely related to the strongly developing ecological risk assessment activities (Lewis and Chancy, 2007). In addition, freshwater monitoring outputs hold a key position in the estimation of the Hg dose consumed by the human population as it is highly dependent on fish consumption. So monitoring of Hg in the tissue of edible fish is extremely important because of contaminated fish has caused serious neurological damage to new born babies and adults (Ramirez-Perez *et al.*, 2004, Sankar *et al.*, 2006, Burger *et al.*, 2007). Mercury tends to accumulate in fish tissue, particularly, in the form of methylmercury, which is about 10 times more toxic than inorganic mercury (Andreji *et al.*, 2006). The Anzali lagoon is one of the biggest wetland of Guilan province, which joins to the Caspian sea. Many Chemical and industrial factories plus agricultural runoffs and urban and rural sewages are major polluting sources of the Anzali wetland. Since many of those polluting sources drain their wastes directly or indirectly into the Anzali wetland and their sewages may be polluted with Hg, this study was conducted to find out the bioaccumulation of Hg bioaccumulation in pike (*Esox lucius*) food chain from Anzali lagoon, Iran.

Sampling were carried out from July 2004 to July 2005, in addition 318 specimens of 9 fish species were collected. T-Hg was measured by LECO AMA 254 Advanced Mercury Analyzer (USA) according to ASTM standard No D-6722. Each sample was analyzed 3 times. Accuracy of T-Hg analysis was checked by running three samples of Standard Reference Materials; SRM 1633b, SRM 2711 & Sra 2709. Detection limit was 0.001 mg/kg in dry weight. The Accuracy degree of analyzer equipment with $RSD < 0.05$ ($N=7$) was between %95.5 and %105. In overall eighth fish species were distinguished in the gut content of 87 specimens of pike with age 1-5 year and maximum length 550

mm. The max. and min. concentration of T-Hg in dorsal muscle of pike was 0.2ppm in one year and 1.2ppm in five year class. The mean of T-Hg significantly increased with age and length increased ($P < 0.05$). Mercury accumulation pattern in pike was as well as muscle > liver > spleen ($P < 0.05$). T-Hg content in female was higher than male ($P < 0.05$). In contrast the mean of T-Hg concentration in dorsal muscle of eight fish species as prey was 0.282, 0.261, 0.328, 0.254, 0.256, 0.286, 0.322 and 0.241 ppm for *Carassius auratus gibelio*, *Hemiculter leucisculus*, *Blicca bjoerkna transcaucasica*, *Chalcalburnus mossulensis*, *Rhodeus sericeus amarus*, *Gambusia holbrooki*, *Alburnus charusini hohenackeri* & *Scardinius Erythrophthalmus* respectively. Linear regression indicated that high degree of relationship between age of pike and Uptak/Intake ratio ($R^2 = 99.12\%$) and indicated that the mercury bioaccumulation in the pike dorsal muscle increased with age increased. BFA was > 1 and indicating the mercury biomagnification in the pike food chain. Trophic level of pike in the Anzali lagoon was estimated as well as 3.5 and 4. It is generally agreed that Hg concentration in carnivorous fish are higher than in non-carnivorous species.

Researcher:
Gholamreza Ghasemzadeh